



Tesis – MO142528

# **PEMODELAN NUMERIK TEGANGAN SISA PENGELASAN PADA SAMBUNGAN BRACKET BANGUNAN APUNG LEPAS PANTAI**

**SUHERI**

**NRP. 4114 201 004**

**DOSEN PEMBIMBING**

**NUR SYAHRONI ST. MT. Ph.D.**

**YOYOK SETYO HADIWIDODO, ST. MT. Ph.D.**

**PROGRAM MAGISTER**

**BIDANG KEAHLIAN TEKNIK DAN PERANCANGAN BANGUNAN LAUT**

**PROGRAM PASCASARJANA TEKNOLOGI KELAUTAN**

**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

**SURABAYA**

**2016**

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*



**Thesis – MO142528**

# **NUMERICAL MODELING OF WELDING RESIDUAL STRESS IN BRACKET JOINT OFFSHORE STRUCTURE**

**SUHERI**

**REG. 4114 201 004**

**SUPERVISOR**

**NUR SYAHRONI ST. MT. Ph.D.**

**YOYOK SETYO HADIWIDODO, ST. MT. Ph.D.**

**MASTER PROGRAM**

**STUDY PROGRAM IN DESIGN OF OCEAN STRUCTURE ENGINEERING**

**FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY**

**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

**SURABAYA**

**2016**

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

**Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Teknik (MT)**

**di**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Oleh :**

**Suheri**

**NRP. 4114 201 004**

**Tanggal Ujian : 22 Juli 2016**  
**Periode Wisuda : September 2016**

**Disetujui oleh :**

**1. Nur Syahroni, ST., MT., Ph.D.**  
**NIP. 19730602 199903 1 002**



**(Pembimbing I)**

**2. Yoyok Setyo Hadiwidodo, ST., MT., Ph.D.**  
**NIP. 19711105 199512 1 001**



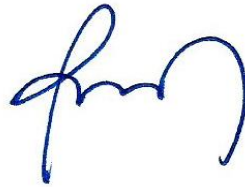
**(Pembimbing II)**

**3. Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D.**  
**NIP. 19630728 198803 1 001**



**(Penguji)**

**4. Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, ST., MT.**  
**NIP. 19710508 199703 1 001**



**(Penguji)**



**Direktur Program Pascasarjana,**



**Prof. Dr. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D.**  
**NIP. 19601202 198701 1 001**

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

# PEMODELAN NUMERIK TEGANGAN SISA PENGELASAN PADA SAMBUNGAN *BRACKET* BANGUNAN APUNG LEPAS PANTAI

Nama Mahasiswa : Suheri  
NRP : 4114 201 004  
Pembimbing : Nur Syahroni, ST., MT., Ph.D.  
Ko-pembimbing : Yoyok Setyo Hadiwidodo, ST., MT., Ph.D.

## ABSTRAK

Struktur bangunan apung lepas pantai seperti kapal, *jacket* dan *Floating Production Storage and Offloading* (FPSO) banyak didominasi dengan menggunakan metode pengelasan dalam proses penyambungan antar struktur bangunan tersebut. Permasalahan utama yang pada proses pengelasan adalah terjadinya tegangan sisa. Tegangan sisa adalah tegangan yang timbul akibat pengaruh panas dan pendinginan setempat sehingga terjadi deformasi plastis yang tidak seragam. Penelitian ini melakukan pemodelan numerik untuk mengetahui nilai distribusi tegangan sisa pada spesimen sambungan *bracket* yang terdapat pada struktur FPSO dengan 2 (dua) skenario. Skenario pertama dilakukan pada jalur pengelasan dari sisi tengah, skenario kedua dilakukan pada jalur pengelasan dari sisi tepi. Penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian eksperimen yang telah dilakukan oleh Syahroni (2014) pada spesimen pelat berpenegar memanjang dan mendapatkan besarnya nilai distribusi tegangan sisa yang terjadi pada arah transversal dan longitudinal. Parameter pengelasan dan data material yang dilakukan pada pemodelan numerik mengacu pada penelitian eksperimen sehingga validasi pemodelan berdasarkan penelitian eksperimen. Hasil optimal yang diperoleh pada masing-masing skenario merupakan hasil pemodelan yang telah dilakukan pada spesimen sambungan *bracket* dengan ukuran *meshing* 6 mm dan nilai efisiensi pengelasan 70 % sehingga nilai *heat flux* yang diberikan sebesar 138 MW / m<sup>2</sup>. Hasil nilai maksimum tegangan sisa pada arah longitudinal untuk skenario pertama diperoleh 0,9 *yield stress* dan skenario kedua 0,8 *yield stress* (YS). Sedangkan hasil nilai maksimum tegangan sisa arah transversal pada jarak 2 mm dari kaki lasan diperoleh 0,85 YS untuk skenario pertama dan 0,65 YS untuk skenario kedua. Pada 2,5 mm dari kaki lasan diperoleh 0,8 YS untuk skenario 1 dan 0,6 YS untuk skenario 2.

Besarnya distorsi yang terjadi pada pemodelan sambungan *bracket* pada skenario pertama mendekati dengan hasil pemodelan numerik specimen pelat berpenegar memanjang, tetapi distorsi hasil pengukuran eksperimen lebih besar. Dengan demikian skenario 1 menghasilkan nilai distorsi lebih besar daripada skenario 2.

Kata kunci : distorsi, pemodelan numerik, sambungan *bracket*, tegangan sisa.

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*



# **NUMERICAL MODELING WELDING RESIDUAL STRESS IN JOINTS BRACKET OF FLOATING OFFSHORE STRUCTURE**

**By : Suheri**

**Student Identity Number : 4114 201 004**

**Supervisor : Nur Syahroni, ST., MT., Ph.D.**

**Co-supervisor : Yoyok Setyo Hadiwidodo, ST., MT., Ph.D.**

## **ABSTRACT**

Building structure of floating offshore such as ships, jacket, and Floating Production Storage and Offloading (FPSO) a lot of dominated by the welding method in the process of connecting between building structures. The main problem that the welding process is the occurrence of residual stress. Residual stress is the voltage resulting from the effect of heat treatment during the welding process and cooling rate fluctuations so that changes are not perfect plastic deformation. This can reduce the strength of the material and cause failure of the structure. This research numerical modeling to determine the value of the residual stress distribution on the specimen contained in the bracket connection FPSO structure with two scenarios. The first by the welding groove of the middle, the second scenario by the welding lines of the side edges. This research is development of experimental research has been done by Syahroni (2014) on the specimens gusset fillet welded connection and get the value of the distribution of residual stress that occur in transverse and longitudinal directions. Welding parameters and material data are carried out on numerical modeling base on research experiment. Each scenario used the specimen bracket connection with meshing size 6 mm and the welding efficiency values of 70% so that the value of heat flux in the amount of 138 242 667 watts / m<sup>2</sup>. The results show the maximum value of the residual stress in the longitudinal direction for the first and the second scenario yield stress (YS) were obtained 0.9 and 0.8. While the residual stress and transverse directions for the first and second scenario YS at a distance of 2 mm from the weld toe YS were obtained 0.85 and 0.65, and for distance 2.5 mm from the weld toe YS were obtained 0.8 and 0.6. Meanwhile, at a distance of 6 mm from the weld toe YS gained 0.7 and 0.4. Thus the results obtained indicate that the first scenario better than the second scenario.

The amount of distortion that occurs in connection modeling bracket in the first scenario approach with the results of numerical modeling of experimental research. While the experimental results is greater than the connection bracket modeling and numerical modeling results of the experiment. So as to the value of scenario 1 with order distortion welding lines of the center side is better than scenario 2 with a sequence of side edge welding lines.

**Keywords : distortion, numeric modeling, bracket joint, residual stress.**

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Syukur alhamdulillah penulis panjatkan kehadirat ALLAH SWT atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini dengan baik dan lancar. Tesis ini disusun guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan studi pascasarjana S2 di Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).

Tesis ini berjudul “**Pemodelan Numerik Tegangan Sisa Pengelasan pada Sambungan Bracket Bangunan Apung Lepas Pantai**” yang menjelaskan tentang distribusi tegangan sisa arah transversal dan longitudinal pada sambungan *bracket* bangunan apung lepas pantai akibat pengaruh pengelasan.

Dalam pengerjaan tesis ini penulis tidak terlepas dari Ridho Sang Pencipta, Allah SWT serta Rasulullah Muhammad SAW. Penulis sangat berterima kasih kepada kedua orang tua, Sagiman. dan Seniwati yang selalu memberikan dukungan dalam berbagai hal. Kepada ketiga adik perempuan penulis, Sri Utami, Spd., Astri Wijaya dan Isma Uswatun Hasanah yang juga memberikan motivasi.

Penulis sangat berterima kasih kepada Bapak Nur Syahroni, ST.,MT., Ph.D. dan Bapak Yoyok Setyo Hadiwidodo, ST., MT., Ph.D. selaku dosen pembimbing atas bimbingan dan arahan yang telah diberikan kepada penulis. Kepada Bapak Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D., Dr. Ir. Wisnu Wardhana, SE., M.Sc., Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D., Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, ST., MT.,selaku dosen penguji, atas saran dan bimbingan yang diberikan. Semoga ALLAH membalas dengan balasan pahala yang setimpal.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada rekan seangkatan prodi Teknik Perancangan Bangunan Laut (TPBL) Yuni Ari Wibowo, ST.,MT., Raditya Danu, ST., MT., Nurman Pamungkas, ST., dan Agung Prasetyo, S.Si. yang telah membantu penulis dalam hal pemahaman materi dan diskusi bersama mengenai pemodelan numerik menggunakan *software*. Serta rekan-rekan penulis yang tidak bisa disebutkan satu per satu, penulis ucapkan terima kasih, semoga ALLAH membalas dengan segala kebaikan dunia dan akhirat.

Penulis menyadari dalam penulisan laporan ini masih banyak kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran sangat diharapkan sebagai bahan penyempurnaan tesis selanjutnya. Penulis berharap semoga tesis ini bermanfaat bagi perkembangan teknologi di bidang industri pengelasan dan pengembangan industri kelautan, bagi pembaca umumnya dan penulis pada khususnya. Wassalamu'alaikum, Wr. Wb.

Surabaya, 22 Juli 2016

Suheri

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xiii</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Manfaat.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
<b>BAB 2 KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI .....</b>	<b>5</b>
2.1 Kajian Pustaka .....	5
2.2 Dasar Teori.....	6
2.2.1 Dasar pengambilan geometri sambungan <i>bracket</i> pada bangunan apung lepas pantai	6
2.2.2 Proses pengelasan pada sambungan <i>bracket</i> .....	8
2.2.3 Efisiensi pengelasan.....	9
2.2.4 Perhitungan sumber panas pengelasan.....	10
2.2.5 Metode elemen hingga.....	16
2.2.6 Kriteria elemen pemodelan .....	17
2.2.7 Tegangan sisa.....	21
2.2.8 Distorsi.....	26

<b>BAB 3</b>	<b>METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>28</b>
3.1	Diagram Alir .....	28
3.2	Penjelasan Diagram Alir .....	30
3.2.1	Studi literatur .....	30
3.2.2	Data geometri.....	30
3.2.3	Validasi Pemodelan .....	35
<b>BAB 4</b>	<b>ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>40</b>
4.1	Pemodelan Geometri Spesimen <i>Bracket</i> Pengelasan.....	40
4.2	Data Material pada Temperatur Tinggi.....	41
4.3	Skenario jalur pengelasan pada pemodelan sambungan <i>bracket</i> .....	43
4.4	Pemodelan Numerik Spesimen <i>Bracket</i> Pengelasan.....	46
4.4.1	Input data material pada pemodelan numerik .....	46
4.4.2	Pemilihan Tipe Elemen dan Optimalisasi Ukuran <i>Meshing</i> .....	48
4.4.3	Pemodelan Termal .....	54
4.4.4	Pemodelan Struktural.....	67
4.4.5	Analisa Hasil Pemodelan Numerik pada Sambungan <i>Bracket</i> .....	70
<b>BAB 5</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>79</b>
5.1	Kesimpulan .....	79
5.2	Saran .....	80
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>81</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>		<b>83</b>
<b>BIOGRAFI .....</b>		<b>117</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2-1 Efisiensi Busur untuk Beberapa Proses Pengelasan (Sumber : Grong 1994).....	10
Tabel 2-2 Hubungan variasi tebal pelat dan panjang kaki lasan (Wiryosumarto, H dan Okumura T, 1994).....	11
Tabel 3-1 Dimensi sambungan pelat berpenegar memanjang (Syahroni, 2014)...	31
Tabel 3-2 Data Komposisi kimia Material Untuk Spesimen (Syahroni, 2014).....	31
Tabel 3-3 Data Sifat Material untuk Tiap Spesimen (Syahroni, 2014).....	32
Tabel 3-4 Tabel data prosedur pengelasan (Syahroni, 2014).....	32
Tabel 3-5 Dimensi sambungan bracket.....	34
Tabel 4-1 Komposisi kimia material untuk baja ASTM A131.....	43
Tabel 4-2 pemodelan variasi ukuran meshing.....	50
Tabel 4-3 Variasi nilai efisiensi berdasarkan pengelasan SMAW.....	58

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1 Struktur bangunan apung lepas pantai FPSO (Floating Production Storage and Offloading) ( <a href="http://rezharejha.blogspot.co.id/2014/02/fpso-floating-production-storage-and.html">http://rezharejha.blogspot.co.id/2014/02/fpso-floating-production-storage-and.html</a> ).....	7
Gambar 2-2 Skema geometri sambungan bracket pada FPSO (DNV, 2005) .....	7
Gambar 2-3 (a) Proses pengelasan SMAW, (b) ilustrasi jarak elektroda terhadap benda kerja (Wiryosumarto, H dan Okumura T, 1994) .....	8
Gambar 2-4 Ilustrasi bentuk geometri prisma segitiga .....	12
Gambar 2-5 Skema proses perpindahan panas secara konduksi, konveksi dan radiasi ( <a href="http://www.kitapunya.net/2015/07/pengertian-contoh-konduksi-konveksi-radiasi.html">http://www.kitapunya.net/2015/07/pengertian-contoh-konduksi-konveksi-radiasi.html</a> ) .....	15
Gambar 2-6 Siklus perubahan temperatur terhadap laju pendinginan .....	16
Gambar 2-7 Beberapa tipe elemen yang digunakan pada pemodelan (ANSYS-elemen type) .....	20
Gambar 2-8 Pembentukan awal terjadinya tegangan sisa (Mahrlein, 1999) .....	22
Gambar 2-9 Proses pembentukan tegangan sisa (Masubuchi 1980).....	23
Gambar 2-10 Distribusi tegangan sisa sambungan las (Wiryosumarto, 1996).....	24
Gambar 2-11 Variasi urutan pengelasan (Wiryosumarto, 1994) .....	25
Gambar 2-12 Beberapa bentuk distorsi dan deformasi pada pengelasan (Wiryosumarto, 1994) .....	26
Gambar 3-1 Diagram alir pengerjaan penelitian tesis.....	28
Gambar 3-2 Diagram alir pengerjaan penelitian tesis (lanjutan) .....	30
Gambar 3-3 Sambungan pelat berpenegar memanjang (Syahroni, 2014) .....	33
Gambar 3-4 Geometri simplifikasi sambungan bracket pada bagian struktur bangunan apung lepas pantai. ....	35
Gambar 3-5 Skenario urutan jalur pengelasan eksperimen pada pelat berpenegar memanjang (Syahroni, 2014) .....	35
Gambar 3-6 Skenario urutan jalur pengelasan eksperimen pada pelat berpenegar memanjang (Syahroni, 2014) .....	36

Gambar 3-7 Distribusi Kurva Tegangan Sisa pada Penampang Arah Longitudinal (Syahroni, 2014) .....	37
Gambar 3-8 Skenario urutan jalur pengelasan eksperimen pada pelat berpenegar memanjang (Syahroni, 2014) .....	38
Gambar 3-9 Pola distorsi pada sambungan pelat berpenegar memanjang (Syahroni, 2014) .....	38
Gambar 3-10 Ilustrasi pengukuran distorsi pada sambungan pelat berpenegar memanjang (Syahroni, 2014) .....	41
Gambar 4-1 Penampang bentuk geometri pemodelan sambungan Bracket .....	42
Gambar 4-2 Data material untuk jenis baja ASTM A131 .....	44
Gambar 4-3 Ilustrasi jalur pengelasan dari sisi tengah.....	45
Gambar 4-4 Ilustrasi posisi pengelasan berdasarkan jalur pengelasan.....	45
Gambar 4-5 Ilustrasi jalur pengelasan dari sisi tepi .....	48
Gambar 4-6 Input parameter data material yang digunakan dalam pemodelan numerik untuk jenis baja ASTM A131 .....	49
Gambar 4-7 Pemilihan tipe elemen berdasarkan bentuk geometri.....	52
Gambar 4-8 Hasil pemodelan variasi meshing dengan ukuran, (a) meshing 12 mm, (b) meshing 9 mm, (c) meshing 8 mm, (d) meshing 6 mm, (e) meshing 6-5 mm dan (f) meshing 6-4 mm .....	52
Gambar 4-9 Beberapa penampang bentuk geometri untuk sambungan bracket dengan ukuran meshing 6 mm.....	53
Gambar 4-10 Sensitivitas jumlah elemen meshing terhadap tegangan sisa di centerline pada jarak 6 mm dari weld toe.....	54
Gambar 4-11 Ilustrasi jalur pengelasan dalam pemodelan sambungan <i>bracket</i> . ..	55
Gambar 4-12 Hasil pembagian area pengelasan untuk pemodelan sambungan bracket. ....	56
Gambar 4-13 (a) Bentuk geometri prisma, (b) Bentuk geometri potongan kerucut. ....	59
Gambar 4-14 Hasil pemodelan variasi nilai efisiensi (SMAW).....	59
Gambar 4-15 (a) letak node pada jalur pengelasan 1, (b) proses pengambilan data pada beberapa node yang mewakili jalur pengelasan 1 .....	60

Gambar 4-16 Perubahan Temperatur terhadap waktu pada node representatif pada jalur pengelasan 1 .....	61
Gambar 4-17 Perubahan Temperatur terhadap waktu pada jalur pengelasan 1 sampai 4 .....	62
Gambar 4-18 Penampang node pada jalur pengelasan 1 .....	63
Gambar 4-19 Pengambilan nilai termal pada tiap node .....	63
Gambar 4-20 Perubahan Temperatur terhadap waktu pada node representatif jalur pengelasan 1 pada skenario 2 .....	64
Gambar 4-21 Perubahan Temperatur terhadap waktu pada jalur pengelasan 1 sampai 4 .....	65
Gambar 4-22 Kondisi batas untuk pemodelan sambungan bracket .....	68
Gambar 4-23 Parameter isotropic hardening .....	69
Gambar 4-24 Perbandingan hasil tegangan sisa arah longitudinal eksperimen dan pemodelan numerik .....	71
Gambar 4-25 Perbandingan hasil tegangan sisa arah transversal antara penelitian eksperimen dan pemodelan numerik .....	72
Gambar 4-26 Penampang hasil sebaran warna pada pemodelan skenario 1 (jalur pengelasan sisi tengah) berdasarkan nilai tegangan .....	73
Gambar 4-27 Penampang hasil sebaran warna pada pemodelan skenario 2 (jalur pengelasan sisi tepi) berdasarkan nilai tegangan .....	73
Gambar 4-28 Perbandingan hasil tegangan sisa arah transversal antara penelitian eksperimen dan pemodelan numerik .....	74
Gambar 4-29 Perbandingan hasil tegangan sisa arah transversal antara penelitian eksperimen dan pemodelan numerik .....	74
Gambar 4-30 Perbandingan hasil tegangan sisa arah transversal antara penelitian eksperimen yang dilakukan oleh Berge & Eide (1982) dan pemodelan numerik ..	75
Gambar 4-31 Pengamatan pengambilan data distorsi pada sambungan bracket ...	76
Gambar 4-32 Proses pengambilan data distorsi pada sambungan bracket. ....	77
Gambar 4-33 Grafik hasil distorsi Skenario 1, hasil Numerik dan hasil Spesimen Eksperimen .....	78
Gambar 4-34 Grafik hasil distorsi Skenario 1 dan Skenario 2 .....	79

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Ruang lingkup penggunaan teknologi pengelasan dalam konstruksi struktur bangunan laut lepas pantai sangat luas meliputi, struktur *Jacket*, FPSO (*Floating Production Storage and Offloading*) dan perkapalan. Teknologi pengelasan sangat berperan sangat penting dalam proses penyambungan dan pabrikasi. Pengertian pengelasan menurut DIN (*Deutsche Industrie Normen*) adalah suatu ikatan metalurgi pada sambungan logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dari definisi tersebut dapat dijabarkan lebih luas bahwa pengelasan adalah proses penyambungan dua buah batang logam atau lebih dengan menggunakan panas dengan suhu tertentu sehingga mengakibatkan logam disekitar daerah lasan mengalami perubahan struktur metalurgi, deformasi dan tegangan termal.

Panas yang tidak merata selama proses pengelasan dapat mempengaruhi siklus termal berupa pemanasan dan pendinginan. Siklus pemanasan dan pendinginan yang tidak sesuai dapat menyebabkan terjadinya tegangan sisa (*residual stress*) dan distorsi. Tegangan sisa adalah tegangan yang timbul akibat perlakuan panas pada saat proses pengelasan dan laju pendinginan yang tidak seragam sehingga mengalami perubahan deformasi plastis yang tidak sempurna dalam suatu bahan. Tegangan sisa menyebabkan material pengelasan mengalami getas (*brittle*), serta mengalami kelelahan (*fatigue*) menurunnya ketahanan las dan dapat mengakibatkan terjadinya korosi. Distorsi adalah perubahan bentuk yang terjadi akibat pengaruh besarnya panas yang diberikan pada pengelasan.

Tegangan sisa dan distorsi memiliki hubungan yang sangat erat dan sangat sensitif terhadap perubahan panas akibat proses pengelasan. Hal ini harus menjadi pertimbangan dalam menghitung dan memberikan panas pada saat melakukan pengelasan.

Salah satu cara untuk mengurangi beberapa pengaruh tersebut, maka dalam pengelasan perlu prosedur pengelasan yang benar dan tepat atau dicari arus, kecepatan pengelasan dan masukan panas yang optimal. Dewasa ini penelitian

untuk mengetahui besarnya nilai tegangan sisa dan distorsi akibat pengelasan telah banyak dilakukan. Umumnya penelitian dengan menggunakan simulasi/pemodelan secara numerik jauh lebih ekonomis dibandingkan dengan penelitian eksperimen. Disisi lain penelitian eksperimen memiliki keunggulan yaitu data yang diperoleh dapat dipertanggungjawabkan dan tervalidasi dengan baik.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Permasalahan yang dibahas dalam penelitian tesis ini adalah :

1. Berapa besarnya nilai tegangan sisa pada spesimen jenis sambungan *bracket* untuk struktur bangunan apung lepas pantai.
2. Berapa besarnya nilai distorsi pada spesimen jenis sambungan *bracket* untuk struktur bangunan apung lepas pantai.
3. Bagaimana pengaruh perbedaan jalur pengelasan terhadap nilai tegangan sisa dan distorsi pada spesimen jenis sambungan *bracket* untuk struktur bangunan apung lepas pantai.

## **1.3 Tujuan**

Adapun tujuan dalam penulisan tesis ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui besarnya nilai tegangan sisa pada spesimen jenis sambungan *bracket* untuk struktur bangunan apung lepas pantai.
2. Mengetahui besarnya nilai distorsi pada spesimen jenis sambungan *bracket* untuk struktur bangunan apung lepas pantai.
3. Mengetahui pengaruh perbedaan jalur pengelasan terhadap nilai tegangan sisa dan distorsi pada spesimen jenis sambungan *bracket* untuk struktur bangunan apung lepas pantai.

## **1.4 Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah pada penulisan ini adalah sebagai berikut :

1. Pemodelan hanya dilakukan pada bagian dari sebuah struktur pengelasan sambungan *bracket* pada bangunan apung lepas pantai.
2. Analisa tegangan sisa hanya dilakukan pada bagian yang dilas dan sesuai dengan hasil eksperimen yang telah dilakukan oleh Syahroni (2014).
3. Analisa pembebanan dilakukan apabila semua pemodelan untuk pengembangan bentuk geometri telah tervalidasi dengan benar.

4. Pemodelan jalur pengelasan hanya dilakukan pada jalur pengelasan dimulai dari tengah dan jalur pengelasan dimulai dari tepi.

### **1.5 Manfaat**

Manfaat dari penelitian ini adalah mengetahui distribusi tegangan sisa dengan menggunakan pemodelan numerik pada sambungan *bracket* untuk bagian struktur bangunan apung yang diberikan pembebanan statis dan siklis, sehingga dapat mempermudah menganalisa bagian struktur pada tahap desain.

### **1.6 Sistematika Penulisan**

#### **BAB 1 PENDAHULUAN**

Bab ini menjelaskan latar belakang yang dilakukan pada penelitian ini, permasalahan yang ada, tujuan yang hendak dicapai, manfaat yang diharapkan setelah dilakukannya penelitian, ruang lingkup penelitian dan sistematika penulisan yang digunakan.

#### **BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI**

Dalam bab ini penulis meninjau penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya baik jurnal, tugas akhir, tesis yang berkaitan dengan tegangan sisa dan distorsi. Dasar teori yang digunakan dalam bab ini antara lain dasar sumber panas pada pengelasan, prosedur pengelasan dan distribusi tegangan sisa dan distorsi.

#### **BAB 3 METODOLOGI**

Bab ini menerangkan metode penelitian yang dituangkan dalam diagram alir, dimana didalamnya terdapat langkah-langkah pengerjaan tesis, serta validasi pemodelan dan perhitungan dengan hasil eksperimen.

#### **BAB 4 ANALISA DAN PEMBAHASAN**

Bab ini menganalisa hasil pemodelan dan membahas hasil perhitungan yang telah dilakukan validasi terhadap hasil eksperimen.

#### **BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini merupakan hasil dari penelitian yang telah dilakukan sesuai dengan perumusan masalah yang kemudian terdapat saran yang dapat menjadi referensi untuk penelitian berikutnya.

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*



## **BAB 2**

### **KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

#### **2.1 Kajian Pustaka**

Tegangan sisa pada proses pengelasan selalu muncul akibat perubahan temperatur (*non uniform*) tidak merata. Tegangan sisa merupakan salah satu bentuk cacat (*flaws*) pada kualitas komponen sambungan karena menurunkan keandalan operasi pada struktur lasan (Pilipenko, 2001). Tegangan sisa pada lasan dapat diketahui atau dihitung dengan dua metode yaitu melalui perhitungan secara analitik atau numerik dan melalui percobaan eksperimen. Panas yang terjadi pada saat proses pengelasan sangat mempengaruhi distribusi suhu panas disekitar area pengelasan, hal ini dapat menimbulkan terjadinya tegangan sisa (*residual stress*). Selain itu panas juga dapat mempengaruhi transformasi fasa pada struktur mikro dan sifat fisik mekanik las.

Fenomena ini secara fisik tidak terlihat secara kasat mata, karena deformasi *macro* terhalang oleh material di sekelilingnya yang tidak mendapat perlakuan thermal secara langsung. Namun, dalam sambungan lasan tersebut terkandung tegangan sisa yang apabila dikenai beban statik maupun beban siklik bersuperposisi menjadi tegangan nominal yang lebih besar. Hal ini mempengaruhi sambungan lasan dikenai beban yang mengakibatkan tegangan nominalnya lebih besar 0,8 dari *yield stress* material tersebut maka terjadi deformasi dan tegangan sisa dilepaskan sehingga harga tegangan sisa menjadi nol Syahroni (2014). Kualitas hasil pengelasan dipengaruhi oleh energi panas yang berarti dipengaruhi juga oleh arus las, tegangan dan kecepatan pengelasan. Hubungan antara ketiga parameter itu menghasilkan energi pengelasan yang dikenal dengan *heat input*. Besarnya arus pengelasan sangat mempengaruhi hasil las, apabila arus las yang dipakai terlalu rendah, maka menyebabkan sukarnya penyalaan busur atau nyala busur tidak stabil. Panas yang terjadi tidak cukup untuk memanaskan elektroda sehingga hasil pengelasan berbentuk rigi-rigi dan hasil penembusan lasan kurang dalam. Simulasi analisa tegangan sisa dan distorsi sudut (*angular*) pada lasan *fillet T-joint* dengan menggunakan metode elemen hingga.

Dalam pemodelan, pengelasan dilakukan satu sisi dengan asumsi sisi yang lain adalah simetri. Variasi yang dilakukan adalah variasi ketebalan pelat *flange*, kedalaman penetrasi lasan, pemberian kekangan dan bebas kekangan. Kesimpulan untuk tegangan sisa transversal, tegangan tarik yang tinggi terjadi dekat kaki lasan fillet (*fillet weld toe*) dan bertambahnya jarak dari kaki lasan tegangan mendekati nol. Untuk tegangan sisa longitudinal, tegangan tarik yang sangat tinggi terjadi dekat kaki lasan, dan tegangan tekan timbul jauh dari lasan (*weld*).

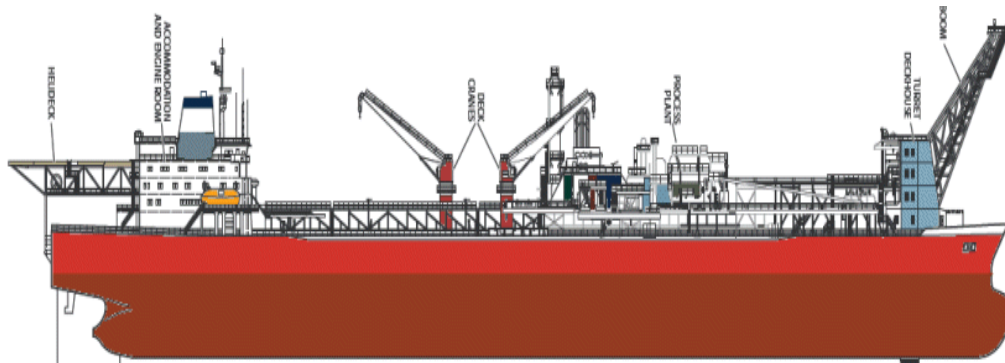
## **2.2 Dasar Teori**

### **2.2.1 Dasar pengambilan geometri sambungan *bracket* pada salah satu bangunan apung lepas pantai**

Geometri sambungan *bracket* merupakan bentuk sambungan yang terdapat pada salah satu bagian struktur bangunan apung lepas pantai jenis FPSO (*Floating Production Storage and Offloading*) yang ditunjukkan pada Gambar 2-1. Sama seperti sambungan pada umumnya, sambungan *bracket* juga dilakukan penyambungan dengan menggunakan proses pengelasan. Proses penyambungan dengan cara pengelasan memiliki kelebihan dan kekurangan. Dilihat dari sisi kelebihannya, proses pengelasan merupakan proses yang sering dan banyak diaplikasikan untuk jenis sambungan struktur baja. Hal ini disebabkan karena proses penyambungan pengelasan memiliki kekuatan yang baik dan mempunyai efisiensi yang tinggi. Namun dari sisi yang lain, proses pengelasan juga memiliki kekurangan yang sangat mendasar yaitu timbul tegangan sisa dan distorsi akibat pengelasan yang mengurangi kekuatan dan umur sambungan lasan.

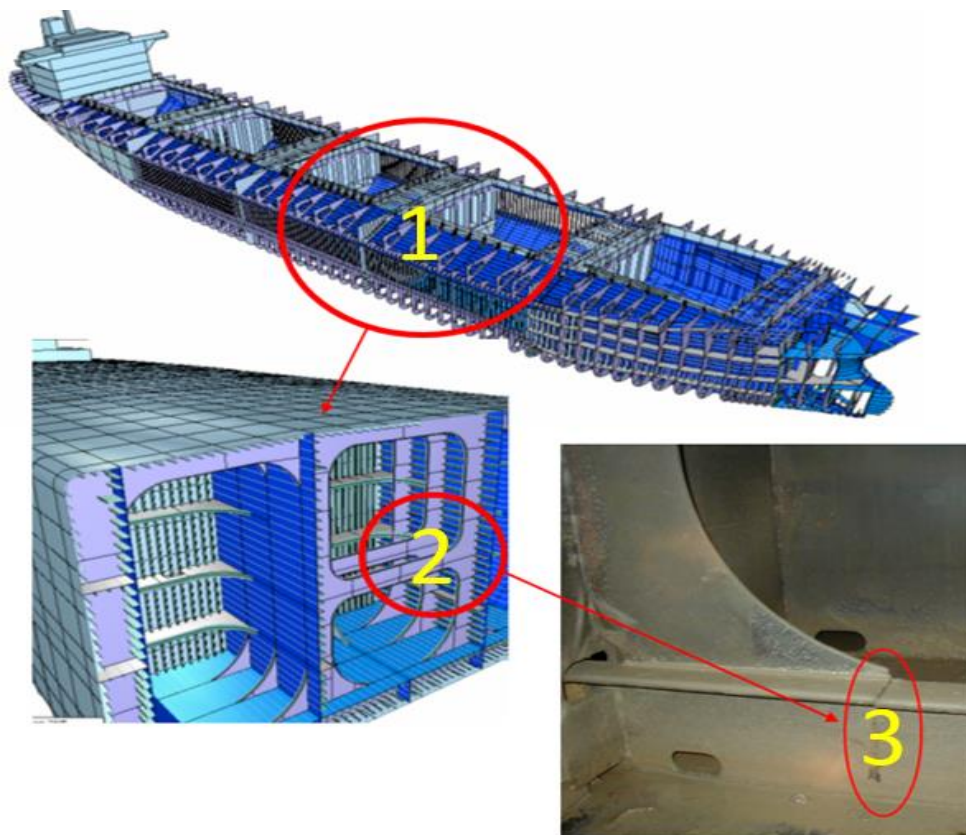
Berdasarkan pembahasan diatas maka perlu dilakukan analisa terhadap sambungan yang dilakukan dengan cara pengelasan. Untuk menganalisa semua sambungan yang terdapat pada FPSO membutuhkan waktu dan biaya yang sangat besar. Oleh karena itu, analisa dilakukan pada salah satu sambungan *bracket* pada struktur FPSO dengan menggunakan metode numerik.

Selanjutnya geometri sambungan *bracket* dilakukan simplifikasi dan kemudian dilakukan simulasi pengelasan dengan metode pemodelan numerik. Adapun tujuan pemodelan numerik pada sambungan *bracket* adalah untuk mengetahui dan menganalisa karakteristik nilai tegangan sisa serta perilaku distorsi akibat proses pengelasan.



**Gambar 2-1** Struktur bangunan apung lepas pantai FPSO (*Floating Production Storage and Offloading*) (<http://rezharejha.blogspot.co.id/2014/02/fpso-floating-production-storage-and.html>)

Untuk menganalisa lebih lanjut maka perlu dilakukan secara spesifik terhadap bagian yang menjadi tujuan untuk melakukan pemodelan dan menganalisa bagian sambungan *bracket* pada struktur FPSO. Gambar 2-2 memperlihatkan skema pengambilan spesimen yang ditinjau besarnya tegangan sisa yang terjadi pada daerah sambungan *bracket*.



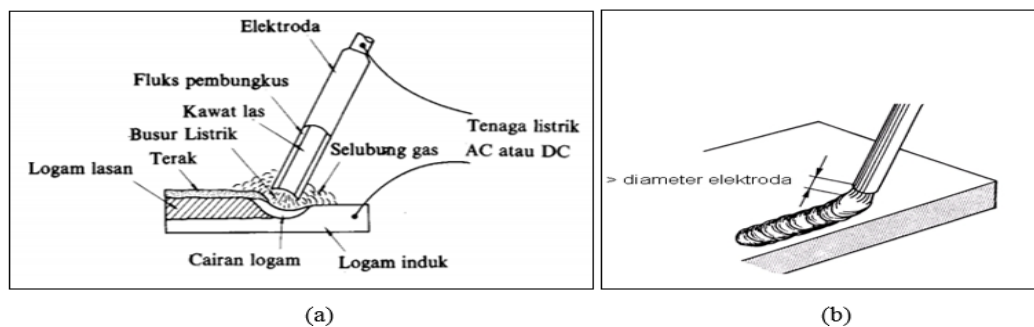
**Gambar 2-2** Skema geometri sambungan *bracket* pada FPSO (DNV, 2005)

Penampang 1 merupakan tampilan tiga dimensi dari sebuah kerangka struktur FPSO, sedangkan pada penampang 2 menunjukkan penampang bagian tengah (*midship*) yang dilakukan analisa tegangan sisa akibat proses pengelasan dan selanjutnya penampang 3 merupakan perwakilan jenis sambungan *bracket* yang terdapat pada penampang 2, dimana pada penampang 3 dilakukan pemodelan dengan metode numerik dan perhitungan terhadap nilai tegangan sisa terutama pada daerah ujung sambungan *bracket* dan perilaku distorsi yang terjadi pada sambungan secara keseluruhan akibat proses pengelasan.

### 2.2.2 Proses pengelasan pada sambungan *bracket*

Secara umum jenis pengelasan dapat dibedakan menurut proses pengerjaannya. Adapun beberapa jenis pengelasan tersebut adalah pengelasan SAW (*Submerge Arc Welding*), GTAW (*GAS Tungsten Arc Welding*), FCAW (*Flux Cored Arc Welding*), dan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*). Las listrik merupakan istilah dari SMAW yang banyak digunakan dalam industri fabrikasi bangunan apung lepas pantai salah satunya adalah pada struktur FPSO.

SMAW adalah proses las busur listik yang paling sederhana prosesnya. Oleh karena itu jenis pengelasan SMAW mempunyai aplikasi yang sangat luas dalam industri yang menyangkut tentang dunia pengelasan. Berdasarkan prosesnya jenis pengelasan SMAW digunakan untuk mengelas berbagai macam logam ferrous dan non ferrous, termasuk baja carbon dan baja carbon paduan rendah, *stainless steel*, paduan-paduan nikel, *cast iron* dan berbagai paduan tembaga. Pada Gambar 2-3 memberikan ilustrasi mengenai proses pengelasan SMAW, dimana Elektroda (terdiri dari kawat las yang dibungkus dengan *flux*) dan logam induk diberikan arus listrik (AC/DC) antara keduanya dengan jarak yang telah ditetapkan.



Gambar 2-3 (a) Proses pengelasan SMAW, (b) ilustrasi jarak elektroda terhadap benda kerja (Wiryosumarto, H dan Okumura T, 1994)

Jarak elektoda dengan benda kerja yang dilas sebaiknya tidak melebihi diameter elektroda. Menurut Sukaini (2011) jarak elektroda terhadap benda kerja harus berdasarkan diameter elektoda seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2-4,b. Pengaruh jarak elektoda juga mempengaruhi hasil lasan. Adapun beberapa parameter pengelasan yang mempengaruhi kualitas hasil lasan diantaranya meliputi, kecepatan pengelasan, besarnya arus, *voltase* dan lain-lain. Dari pembahasan proses pengelasan SMAW diatas, diharapkan dapat memberikan gambaran umum mengenai fungsi dari pengelasan SMAW dan beberapa parameter yang dapat mempengaruhi hasil lasan. Sehingga dapat dijadikan sebagai acuan untuk melakukan pemodelan pada sambungan *bracket*.

### **2.2.3 Efisiensi pengelasan**

Prosedur pengelasan adalah suatu perencanaan untuk melaksanakan pengelasan yang meliputi cara pembuatan kontruksi las yang sesuai dengan rencana dan spesifikasinya dengan menentukan semua hal yang diperlukan dalam pelaksanaan pengelasan. Dalam menentukan prosedur pengelasan harus mempunyai pengetahuan tentang teknologi las, sehingga dapat menggunakan pengetahuan tersebut dan mengerti tentang efisiensi dan ekonomi dari proses pengelasan.

Pengetahuan mengenai besarnya nilai efisiensi yang diberikan pada saat pengelasan sangat mempengaruhi besarnya panas pada pengelasan. Nilai efisiensi harus sesuai dengan jenis pengelasan. Hal ini bertujuan untuk mengoptimalkan hasil pengelasan.

Energi panas yang digunakan untuk memanaskan elektroda sebagian hilang disebabkan adanya pengaruh temperatur yang terjadi pada area pengelasan. Hal ini menimbulkan pengurangan terhadap efisiensi yang terjadi pada saat proses pengelasan.

Menurut Grong (1994) nilai efisiensi untuk proses pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) yaitu antara 66 – 85 % yang ditunjukkan pada Tabel 2-1. Dengan menggunakan nilai tersebut, dapat memvariasikan nilai efisiensi yang sesuai dengan panas yang diperlukan pada saat melakukan pengelasan.

Pada Tabel 2-1 menunjukkan beberapa nilai efisiensi berdasarkan jenis tipe proses pengelasan yang dapat dijadikan sebagai acuan untuk pengelasan. Dalam tabel 2-1 terdapat nilai efisiensi pengelasan SMAW, dengan nilai tersebut selanjutnya digunakan untuk melakukan pemodelan pengelasan.

**Tabel 2-1 Efisiensi Busur untuk Beberapa Proses Pengelasan (Sumber : Grong 1994)**

No	Jenis proses pengelasan	Efisiensi ( $\eta$ )	
		Nilai (%)	Rata-rata (%)
1	SAW (steel)	91 - 99	95
2	<b>SMAW (steel)</b>	<b>66 - 85</b>	<b>80</b>
3	GMAW (CO <sub>2</sub> -steel)	75 - 93	85
4	GMAW (Ar-steel)	66 - 70	70
5	GTAW (Ar-steel)	25 - 75	40
6	GTAW (He-Al)	55 - 80	60
7	GTAW (Ar-Al)	22 - 46	40

#### 2.2.4 Perhitungan sumber panas pengelasan

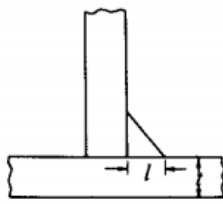
Panas yang terjadi pada proses pengelasan sangat mempengaruhi distribusi suhu, tegangan sisa (*residual stress*) dan distorsi. Selain itu panas juga mempengaruhi transformasi fasa yang selanjutnya berpengaruh pada struktur mikro dan sifat fisik maupun mekanik pengelasan.

Sumber energi pada pengelasan membutuhkan dua hal yang sangat penting yaitu energi termal yang berupa panas dan energi mekanik yang berupa tekanan. Sumber energi termal (panas) diperoleh dari energi kimia (pembakaran gas dengan oksigen) dan energi listrik (arus listrik atau sinar intensitas tinggi). Beberapa tahapan yang perlu diketahui sebelum menghitung besarnya sumber panas yang diberikan pada saat proses pengelasan, diantaranya menghitung luasan area yang diberikan panas.

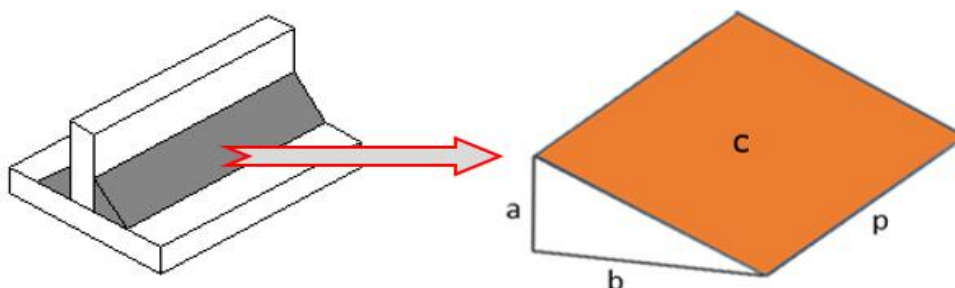
#### 2.2.4.1 Menghitung luasan area lasan

Perhitungan luasan area pengelasan merupakan salah satu syarat untuk mengetahui area yang diberikan sumber panas. Profil lasan sangat berpengaruh terhadap luasan area dalam pengelasan. Dalam hal ini jenis pengelasan yang dilakukan merupakan pengelasan tipe *fillet*. Secara umum pengelasan *fillet* sangat tergantung dari ketebalan pelat yang dilas. Sehingga panjang kaki lasan dapat disesuaikan dengan ketebalan pelat. Pada Tabel 2-2 menunjukkan hubungan variasi tebal pelat dengan panjang kaki lasan. Dengan demikian dapat diketahui skema profil area pengelasan.

**Tabel 2-2 Hubungan variasi tebal pelat dan panjang kaki lasan (Wirjosumarto, H dan Okumura T, 1994)**

Tebal pelat (mm)	Panjang kaki (l)	Skema
3,2	3	
4,5	4	
6,0	5	
8,0-9,0	7	
12	10	
16	12	

Berdasarkan tipe pengelasan *fillet* dan skema yang diperlihatkan pada Tabel 2-2 Sehingga diperoleh bentuk geometri area pengelasan yaitu prisma segitiga. Untuk memudahkan perhitungan terhadap luas area, perlu dilakukan ilustrasi sederhana berdasarkan skema profil pada geometri prisma segitiga. Pada Gambar 2-4 menunjukkan ilustrasi dari bentuk geometri prisma segitiga yang mewakili area pengelasan.



**Gambar 2-4 Ilustrasi bentuk geometri prisma segitiga**

Dari hasil ilustrasi dan data dimensi yang telah ditetapkan sehingga diperoleh volume pada geometri prisma segitiga dengan menggunakan persamaan 2-1 sebagai berikut :

$$V = \frac{1}{2} b \times a \times p \quad (2-1)$$

Dengan ;

V = volume prisma segitiga

b = alas prisma segitiga

a = tinggi prisma segitiga

p = panjang prisma segitiga

Sedangkan untuk mengetahui besarnya kemiringan dari prisma segitiga yang ditunjukkan pada Gambar 2-4 dapat menggunakan persamaan 2-2 sebagai berikut :

$$C = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (2-2)$$

Dengan ;

C = kemiringan prisma segitiga

a = tinggi prisma segitiga

b = alas prisma segitiga

Setelah semua parameter diatas telah diketahui, maka luas area secara keseluruhan dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 2-3 sebagai berikut :

$$A = C \times p \quad (2-3)$$

Dengan ;

A = luas area prisma segitiga

C = kemiringan prisma segitiga

p = panjang area prisma segitiga

#### **2.2.4.2 Perhitungan *heat flux***

Menurut Masubuchi (1980) sumber panas yang dihasilkan selama proses pengelasan paling besar dihasilkan oleh input energi tenaga listrik. Dengan input energi panas atau intensitas *heat source* yang tepat tentu menghasilkan hasil pengelasan yang baik. Secara umum *heat source* yang diberikan pada saat



pengelasan berupa *heat flux*. *Heat flux* merupakan aliran panas yang terjadi pada pengelasan per area.

Berdasarkan parameter pengelasan yang ditunjukkan pada Tabel 2-1 dan asumsi nilai efisiensi pengelasan SMAW sebesar 70 % maka diperoleh panas dalam satu detik dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2-4 berikut ini :

$$Q_i = \eta \times I \times v \quad (2-4)$$

Dengan ;

$Q_i$  = panas per detik (J/s)

$\eta$  = efisiensi pengelasan

$I$  = Arus

$v$  = voltase

Menentukan besarnya *heat flux* yang diberikan pada saat proses pemodelan pengelasan harus dilakukan perhitungan berdasarkan panjang area dan kecepatan pengelasan (proses pengelasan SMAW). Dalam hal ini panjang area biasanya dihitung berdasarkan penjumlahan dari nilai kecepatan pengelasan dalam satu detik .Sehingga diperoleh besarnya nilai *heat flux* secara keseluruhan dengan menggunakan persamaan 2-5 sebagai berikut :

$$H_{flux} = \frac{Q_i \times p}{v} \quad (2-5)$$

Dengan ;

$Q_i$  = panas per detik

$p$  = panjang area prisma segitiga

$v$  = kecepatan pengelasan per detik

Sedangkan untuk menentukan *heat flux* per area dapat menggunakan persamaan 2-6. Selanjutnya nilai tersebut yang digunakan untuk pemodelan pada sambungan *bracket*.

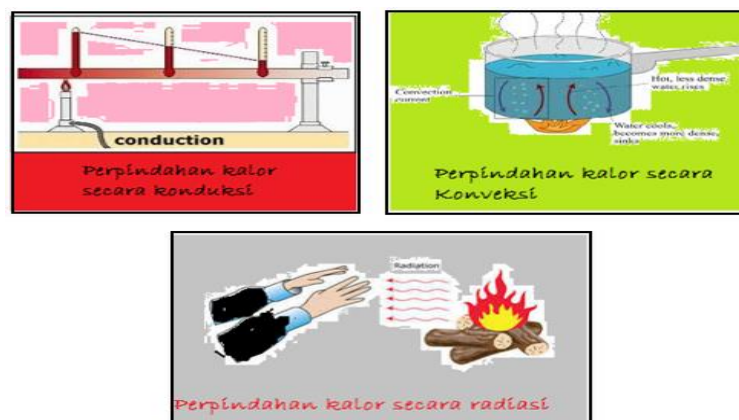
$$Q_{flux} = \frac{H_{flux}}{A} \quad (2-6)$$

### 2.2.4.3 Perpindahan panas

Pengelasan merupakan proses penyambungan dua buah logam atau lebih dengan menggunakan panas. Besarnya panas yang diberikan tergantung dari jenis pengelasan yang digunakan. Panas yang terjadi pada saat melakukan pengelasan berpindah sesuai dengan kondisi pengelasan. Perpindahan panas yang terjadi pada pengelasan merupakan perpindahan panas secara transient (transient thermal).

Pada kenyataannya perpindahan panas dari sumber panas menuju benda kerja berjalan tidak sempurna. Hal ini ditandai dengan adanya panas yang hilang akibat pengaruh lingkungan. Besarnya panas yang hilang bergantung pada efisiensi pengelasan. Perpindahan panas juga tergantung pada ukuran dan bentuk konstruksi benda yang dilas. Pemilihan sambungan yang dilas juga penting untuk mengetahui bentuk struktur dan sifat beban yang bekerja. Aliran panas atau perpindahan panas merupakan proses yang sangat penting dalam proses pengelasan dalam menentukan kualitas hasil lasan. Aliran panas sangat mempengaruhi struktur micro, reaksi oksidasi / reduksi, tegangan sisa dan distorsi.

Perpindahan panas pada proses pengelasan yang ada di lapangan terjadi secara konduksi, konveksi dan radiasi. Namun pada pemodelan pengelasan perpindahan panas secara radiasi dapat diabaikan. Hal ini disebabkan oleh sulitnya melakukan pemodelan perpindahan panas secara radiasi dan pengaruh radiasi pada proses pengelasan juga tidak terlalu signifikan pada hasil pengelasan. Pada Gambar 2-5 ditunjukkan skema proses perpindahan panas secara konduksi, konveksi dan radiasi.

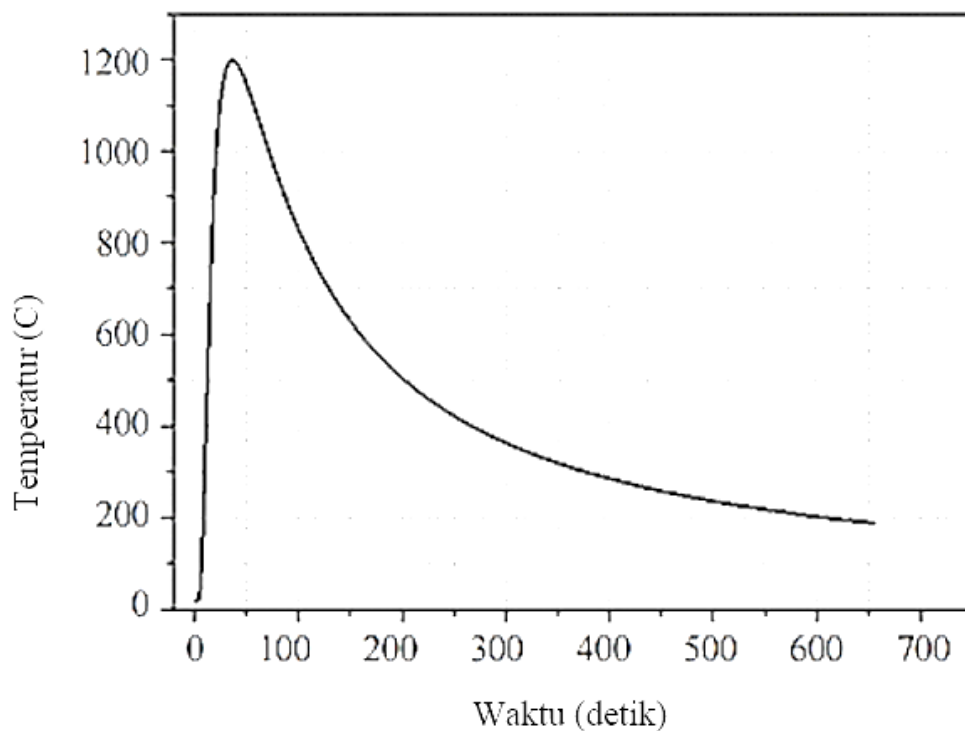


**Gambar 2-5 Skema proses perpindahan panas secara konduksi, konveksi dan radiasi**  
(<http://www.kitapunya.net/2015/07/pengertian-contoh-konduksi-konveksi-radiasi.html>)

#### 2.2.4.4 Siklus termal pengelasan

Pengelasan merupakan proses penyambungan dengan menggunakan energi panas. Panas yang terjadi pada daerah lasan mengalami perubahan temperatur yang biasa disebut dengan siklus termal pengelasan. Akibat dari siklus termal yang terjadi pada area lasan dapat menimbulkan cacat las, sehingga mengurangi kekuatan pengelasan.

Menurut Wiryosumarto, H dan Okumura T (1994), siklus termal merupakan proses pemanasan dan pendinginan pada daerah pengelasan. Bagian terpenting pada siklus termal adalah pada saat proses pendinginan. Dimana waktu pendinginan (*cooling time*) yaitu antara temperatur 800 °C – 500 °C mengalami perubahan struktur mikro dan sifat mekanik. Pada Gambar 2-6 ditunjukkan siklus termal yang terjadi pada proses pengelasan.



**Gambar 2-6 Siklus perubahan temperatur terhadap laju pendinginan (Wiryosumarto, H dan Okumura T,1994)**

Perubahan temperatur yang terjadi pada saat proses pengelasan mengalami peningkatan yang signifikan pada awal pengelasan, selanjutnya panas mengalami penurunan secara perlahan terhadap waktu pendinginan. Siklus ini terjadi secara berulang setiap kali melakukan pengelasan. Temperatur yang diperlukan untuk mencairkan logam lasan biasanya tergantung dari jenis pengelasan dan material

yang digunakan dalam pengelasan. Durasi waktu yang diperlukan untuk proses pendinginan juga dapat mempengaruhi struktur mikro dan sifat mekanik dari struktur yang dilas.

#### **2.2.5 Metode elemen hingga**

Metode elemen hingga merupakan metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan dalam bidang rekayasa seperti geometri, pembebanan dan sifat-sifat dari material yang sangat rumit. Hal ini tidak dapat atau sulit diselesaikan dengan solusi analisa matematis Logan (2000). Pendekatan metode elemen hingga adalah menggunakan informasi-informasi pada titik simpul (*node*). Dalam proses penentuan titik simpul yang disebut pendeskritan (*discretization*), suatu sistem dibagi menjadi bagian-bagian yang lebih kecil, kemudian penyelesaian masalah dilakukan pada bagian-bagian tersebut dan selanjutnya digabung kembali sehingga diperoleh solusi secara menyeluruh.

Perkembangan teknologi telah memungkinkan untuk melakukan pemodelan lasan dengan pendekatan FEM (*Finite Elemen Method*), CMW (*Computational Welding Modeling*). CMW dan pemodelan dengan menggunakan perangkat lunak (*software*) merupakan alat bantu untuk memodelkan sebaran dan tegangan sisa pada lasan dengan penyelesaian secara numerik. Dengan melakukan pemodelan ini perilaku panas (*thermal*) dan mekanik (*mechanical*) dalam proses pengelasan dapat diketahui dengan mudah, sehingga mendekati kondisi sebenarnya di lapangan atau hasil eksperimen.

Kelebihan melakukan pemodelan dengan menggunakan perangkat lunak (*software*) jika dibandingkan dengan metode eksperimen dalam penentuan bentuk geometri lasan dan tegangan sisa adalah sebagai berikut :

- a. Simulasi pemodelan dengan sudah dapat memahami fenomena fisik yang terjadi selama proses pengelasan dengan lebih komprehensif.
- b. Pembatasan pada parameter yang terkandung dalam pemodelan eksperimen dapat dilakukan dengan mudah (misalkan pembatasan pada input temperatur lasan atau kecepatan pengelasan).
- c. Simulasi pemodelan menjadi lebih ekonomis dan lebih cepat dibandingkan dengan eksperimen.

## 2.2.6 Kriteria elemen pemodelan

Pemilihan tipe elemen yang digunakan dalam pemodelan merupakan salah satu tahapan penting sebelum melakukan sebuah pemodelan numerik. Jenis elemen yang digunakan untuk pemodelan harus memenuhi kriteria dalam sebuah pemodelan. Dalam penelitian ini pemodelan yang dilakukan adalah pemodelan termal dan struktural dengan menggunakan (*software*).

Pemodelan termal dilakukan dengan tipe elemen solid 70 dan solid 90, sedangkan untuk pemodelan struktural dilakukan dengan tipe elemen solid 185 dan solid 186.

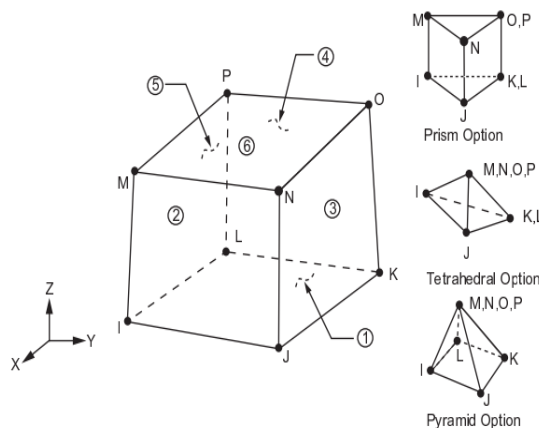
Perhitungan elemen hingga dilakukan berdasarkan analisa pemodelan termal dan struktural. Pada Persamaan 2-7 merupakan formula yang digunakan untuk menganalisa beban termal pada pemodelan. Sedangkan pada Persamaan 2-8 digunakan untuk menganalisa kondisi struktur yang terjadi pada saat pemodelan.

$$[C^t]\{\dot{T}\} + [K^t]\{T\} = \{Q\} \quad (2-7)$$

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{F\} \quad (2-8)$$

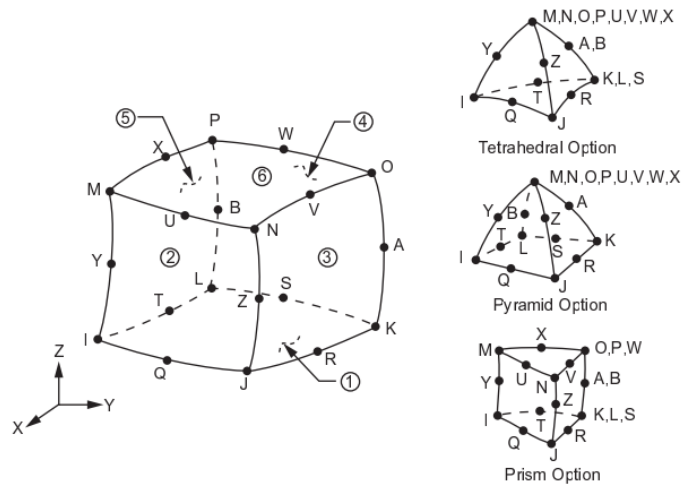
Pada Gambar 2-7 ditunjukkan beberapa tipe elemen yang disediakan oleh *software* dan sesuai dengan kriteria pemodelan termal dan struktural.

### a. Solid 70



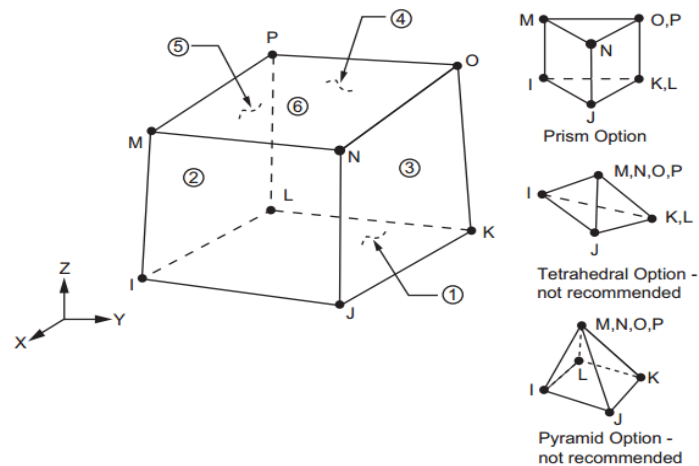
Elemen solid 70	Jumlah node
prisma	6
tetrahedral	4
Pyramid	5

**b. Solid 90**



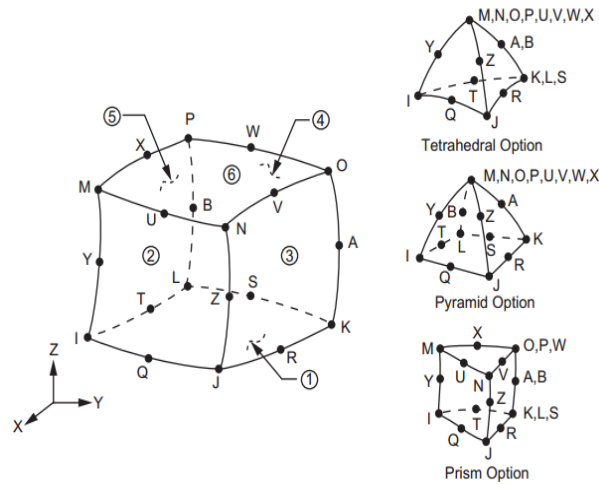
Elemen solid 90	Jumlah <i>node</i>
Tetrahedral	10
Pyramid	13
Prisma	15

**c. Solid 185**



Elemen solid 185	Jumlah <i>node</i>
Prisma	6
Tetrahedral	4
Pyramid	5

#### d. Solid 186



Elemen solid 186	Jumlah <i>node</i>
Prisma	10
Tetrahedral	13
Pyramid	15

**Gambar 2-7 Beberapa tipe elemen yang digunakan pada pemodelan (ANSYS-elemen type)**

Dari beberapa tipe elemen yang ditunjukkan pada Gambar 2-7 terdapat perbedaan dari bentuk elemen yaitu *tetra* dan *hexa*. Dari masing-masing bentuk memiliki kelebihan dan kekurangan untuk dilakukan pemodelan. Gambaran umum tentang kelebihan dan kekurangan dari kedua elemen terletak pada jumlah elemen dan *node*. Untuk elemen *tetra* jumlahnya jauh lebih besar daripada elemen *hexa*. Hal ini yang menyebabkan proses komputasi jauh lebih lama dan banyak menggunakan memori.

Seiring dengan perkembangan zaman dan perkembangan teknologi terkini kekurangan tersebut dapat diselesaikan dengan menggunakan perangkat yang canggih dan mampu menyelesaikan permasalahan tersebut, sehingga tidak ada kendala dalam sebuah pemodelan dengan menggunakan elemen *tetra* maupun *hexa*.

Wang Erke, dkk. telah melakukan penelitian mengenai bentuk elemen *tetra* dan *hexa* dengan berbagai model. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui

karakteristik dari masing-masing elemen *tetra* maupun *hexa*. Dalam hal ini penelitian yang dilakukan pada sebuah model yang memiliki elemen yang berbeda (*tetra* dan *hexa*) dan selanjutnya diberikan pembebanan berupa tekanan, puntiran, *bending*, dan distribusi tegangan untuk dibandingkan hasilnya. Dari beberapa pengujian tersebut secara umum diperoleh perbedaan hasil yang tidak signifikan. Artinya penggunaan jenis elemen *tetra* maupun *hexa* dalam hal ini dapat dipertanggung jawabkan untuk pemodelan. Dengan demikian dapat menambah pemahaman tentang karakteristik dari masing-masing elemen yang digunakan dalam pemodelan baik untuk elemen *tetra* maupun *hexa*.

### **2.2.7 Tegangan sisa**

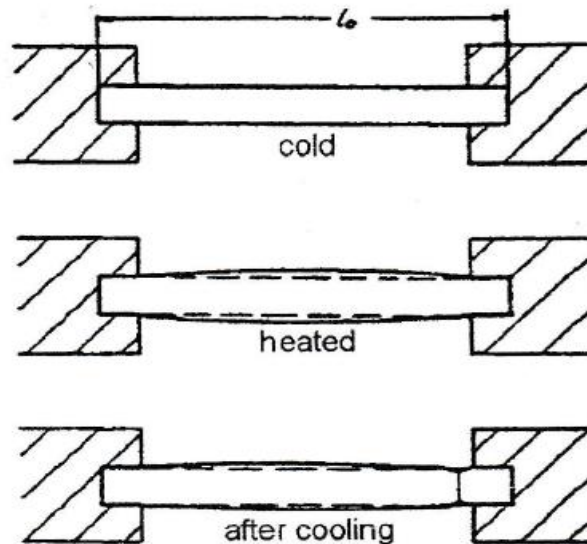
Pada proses pengelasan melibatkan pemanasan lokal yang tinggi pada daerah yang dilas. Selama proses pengelasan berlangsung temperaturnya mengalami perubahan sehingga dapat mengakibatkan distribusi panas yang tidak merata pada sambungan logam dan terjadi energi internal yang tersimpan dalam material pengelasan yang dapat menimbulkan tegangan-regangan yang tidak seragam pada komponen material yang disebabkan kontraksi dan pemanjangan pada daerah pemanasan. Akibat distribusi pemanasan yang tidak merata menyebabkan terjadinya pengembangan termal pada bagian yang dilas, sedangkan pada bagian yang dingin tidak terjadi perubahan sehingga terbentuk suatu penghalang pada proses pengembangan yang mengakibatkan terjadinya peregangan yang kompleks. Apabila tidak dihindari, hal ini menyebabkan perubahan bentuk (*distorsi*). Akibatnya adanya regangan tetap maka fenomena ini yang disebut dengan tegangan sisa.

Dalam proses pengelasan, bagian yang dilas menerima panas pengelasan pada titik terpusat selama pemanasan berlangsung. Sehingga terjadi perubahan termal pada area tersebut. Pada saat pengelasan dihentikan mulai terjadi proses pembekuan (*solidifikasi*). Proses ini merupakan awal terjadinya tegangan sisa karena di ikuti dengan adanya penyusutan volume pada area sekitar lasan. Akibatnya terjadi regangan pada bahan tersebut dengan demikian menyebabkan terjadinya tegangan yang sifatnya tetap dan disebut dengan tegangan sisa.

Menurut Mahrlein (1999), awal terjadinya tegangan sisa yang ditunjukkan pada Gambar 2-8 dimana prinsip batang sebelum dipanaskan dengan panjang  $l_0$



ditahan pada ujung kedua sisinya. Kemudian dipanasi sehingga batang tidak bisa memuai ke arah longitudinal dan terjadi tegangan tekan. Pada keadaan ini *yield strenght*,  $\sigma_y$  turun sehingga memuai ke arah vertikal dan batang menjadi menggelembung. Setelah kembali dingin, batang mengalami penyusutan. Namun karena terdapat tahanan pada kedua ujung sisinya maka terjadi tegangan sisa.

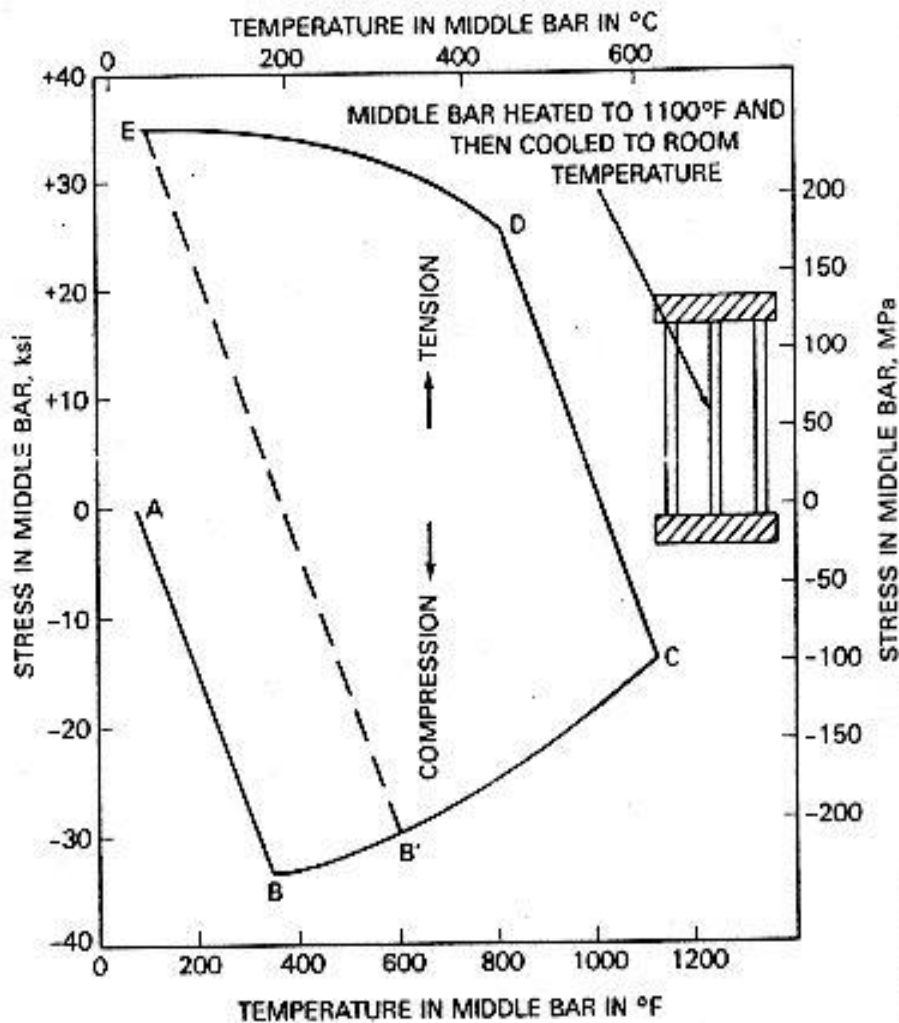


**Gambar 2-8 Pembentukan awal terjadinya tegangan sisa (Mahrlein, 1999)**

Menurut Masubuchi (1980) tegangan sisa pada logam dapat terjadi karena beberapa hal selama proses produksi yaitu diantaranya :

- Material termasuk pelat dan batangan selama proses *roll*, *casting* dan *forging*
- Selama pembentukan bagian-bagian metal oleh proses-proses seperti *bending*, *grinding*, *shearing* dan *machining*
- Selama proses fabrikasi, termasuk pengelasan.

Dari beberapa hal diatas dapat digambarkan bahwa terjadinya tegangan sisa karena terjadinya perlakuan panas yang tidak merata pada area tertentu, sehingga pada proses pendinginan mengalami perbedaan temperatur yang signifikan. Pada Gambar 2-9 menunjukan proses pembentukan tegangan sisa yang dilakukan oleh Masubuchi (1980).



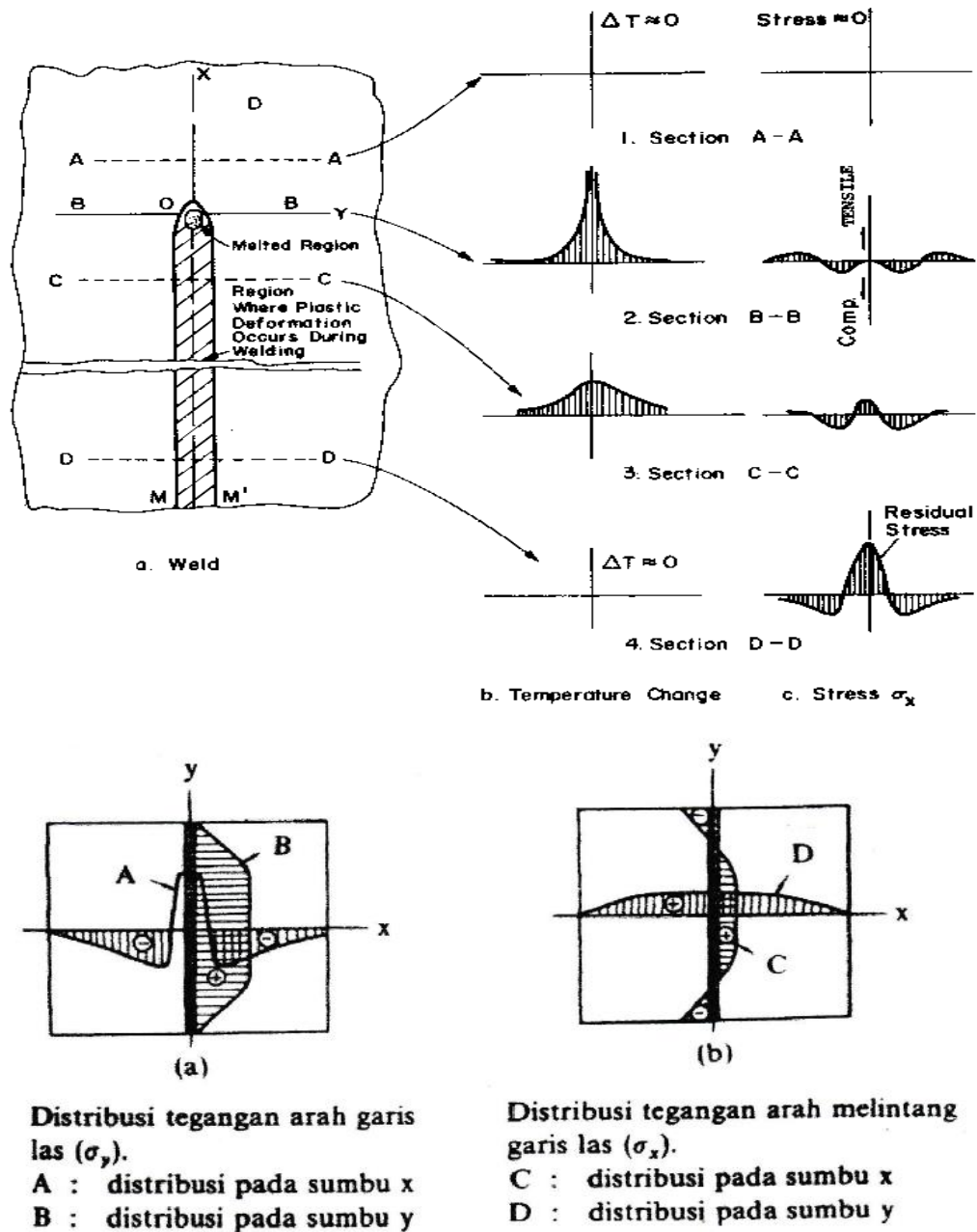
**Gambar 2-9 Proses pembentukan tegangan sisa (Masubuchi 1980)**

Faktor-faktor yang berpengaruh dalam pembentukan tegangan sisa adalah batas transformasi dan batas luluh bahan, temperatur pemanasan tertinggi, kecepatan pendinginan, tahanan luar dan pemanasan awal. Ketika material dipanasi secara merata tidak ada tegangan yang terjadi, tetapi ketika material dipanasi secara tidak merata terjadi tegangan. Tegangan sisa juga terjadi ketika regangan yang didistribusikan tidak merata seperti regangan plastis.

#### **2.2.7.1 Distribusi Tegangan Sisa**

Distribusi tegangan sisa bergantung pada jenis dan bentuk lasan. Pada las tumpul, garis lasan arah memanjang (longitudinal) mencapai batasan kekuatan luluh pada garis las dan kemudian menurun dan mencapai nol pada ujung pelat. Sedangkan arah melintang garis las (transversal) terjadi keseimbangan antara tegangan tarik dan tekan.

Pada Gambar 2-10 menjelaskan proses distribusi tegangan sisa yang dilakukan pada sambungan *butt joint* berdasarkan arah longitudinal dan transversal.



Gambar 2-10 Distribusi tegangan sisa sambungan las (Wiryo Sumarto, 1996)

Tegangan sisa longitudinal maksimum,  $\sigma_x$  dalam lasan biasanya mendekati batas *yield*,  $\sigma_y$ . Secara berangsur-angsur menurun menjauh dari sumbu lasan dalam daerah deformasi plastis, tegangan tarik longitudinal kemudian menurun berubah menjadi tekan pada daerah yang berdekatan.

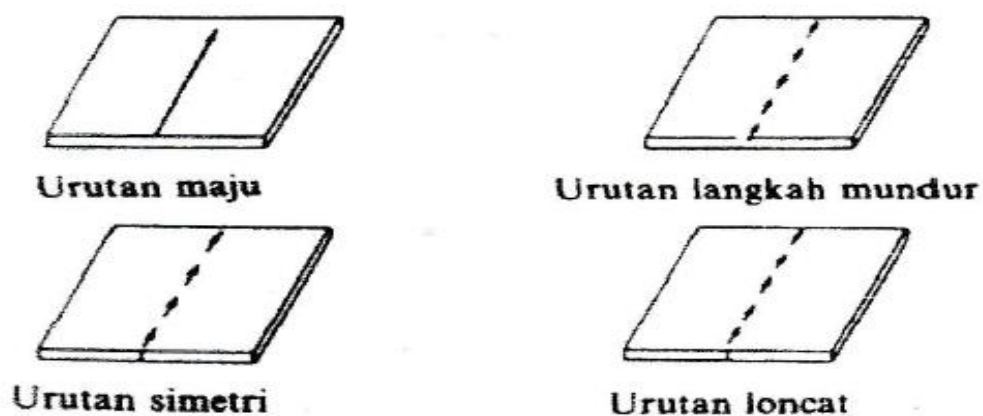
Laju pendinginan selama proses pengelasan dan keadaan awal baja dapat mempunyai efek yang cukup serius terhadap distribusi tegangan. Lebar daerah deformasi plastis bergantung pada parameter pengelasan, properti material dan kekakuan struktur. Untuk parameter ini, properti material yang paling penting adalah *yield stress*  $\sigma_y$ , modulus elastis  $E$  dan koefisien ekspansi termal  $\alpha$ , material dengan  $\sigma_y$  lebih tinggi, maka daerah deformasi plastis lebih lebar.

Parameter utama adalah besarnya panas yang diberikan pada saat proses pengelasan. Panas yang berupa *heat flux* diberikan berdasarkan luasan area menimbulkan deformasi plastis. Penambahan kecepatan pengelasan dapat mengurangi daerah deformasi plastis. Oleh karena itu perlu perhitungan yang tepat antara besarnya *heat flux* dan kecepatan pengelasan agar mendapatkan hasil pengelasan yang baik.

#### 2.2.7.2 Pengurangan Tegangan Sisa

Dalam pengelasan, tegangan terjadi karena adanya penyusutan saat pendinginan setelah pengelasan. Besarnya tegangan sisa yang terjadi dapat dikurangi dengan cara mengurangi besarnya masukan panas (*heat input*) dan banyaknya logam lasan yang dilaksanakan dengan memperkecil sudut alur dari kampuh dan memperkecil celah akar (*root space*) pada alas tumpul. Sedangkan untuk las sudut, dapat dilakukan dengan memperkecil panjang kaki las dan penguat.

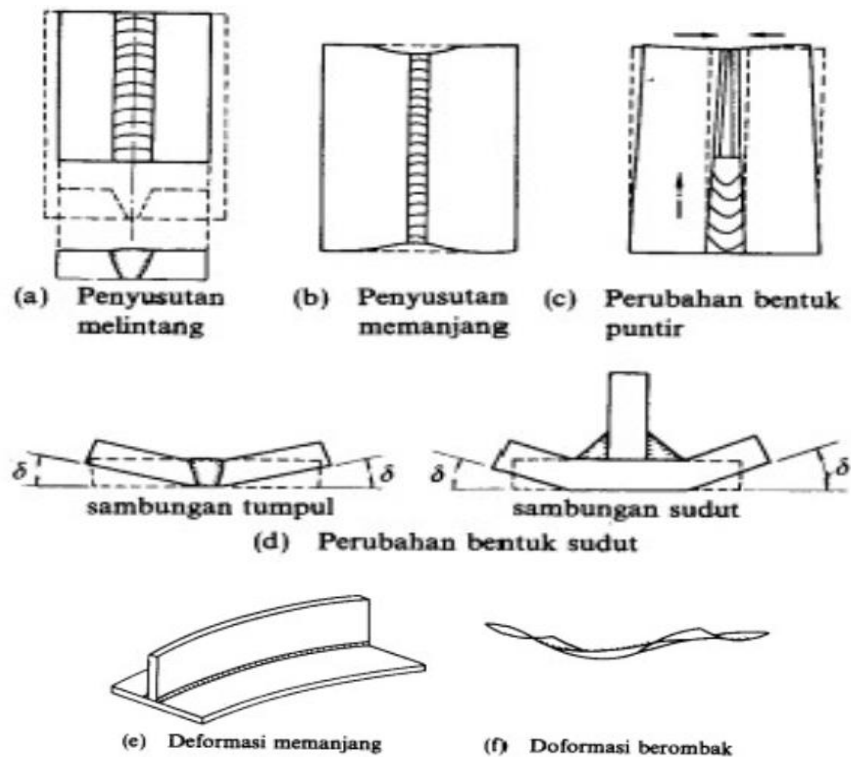
Urutan yang baik juga digunakan untuk mengurangi tegangan sisa yang disebabkan oleh penghalang luar. Pada Gambar 2-11 merupakan urutan pengelasan yang dapat digunakan untuk mengurangi besarnya tegangan sisa.



Gambar 2-11 Variasi urutan pengelasan (Wiryosumarto, 1994)

### 2.2.8 Distorsi

Distorsi adalah perubahan bentuk atau penyimpangan bentuk yang diakibatkan oleh panas. Distorsi dengan tegangan sisa memiliki hubungan yang sangat signifikan. Distorsi merupakan salah satu permasalahan yang umum dan tidak dapat dihindari pada saat melakukan proses pengelasan. Pada Gambar 2-12 ditunjukkan beberapa bentuk distorsi dan deformasi yang terjadi pada proses pengelasan.



**Gambar 2-12 Beberapa bentuk distorsi dan deformasi pada pengelasan (Wiryosumarto, 1994)**

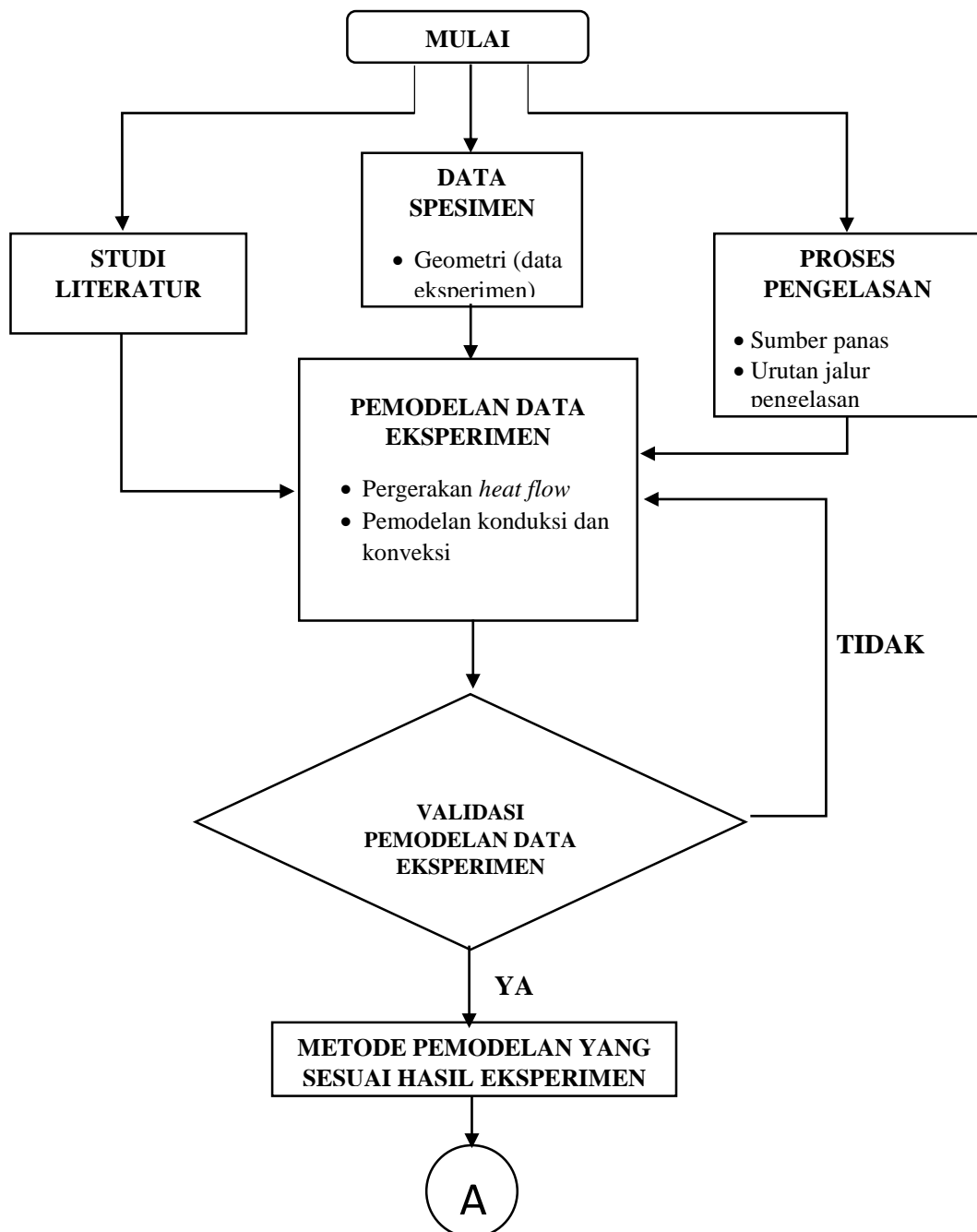
Perilaku bentuk distorsi dan deformasi yang diperlihatkan pada Gambar 2-12 merupakan bentuk yang sering terjadi pada saat pengelasan. Sehingga perlu perlakuan khusus terhadap hasil distorsi yang terbentuk. Distorsi dapat dikendalikan dengan beberapa tahap diantaranya dengan menyesuaikan parameter pengelasan. Dalam hal ini parameter yang ditinjau adalah dengan memvariasikan jalur pengelasan sehingga dapat mengurangi besarnya distorsi dan melihat pola bentuk distorsi yang terjadi pada saat pengelasan. Dengan demikian diharapkan dapat meminimalisasi nilai distorsi dan deformasi yang terjadi pada saat proses pengelasan.

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

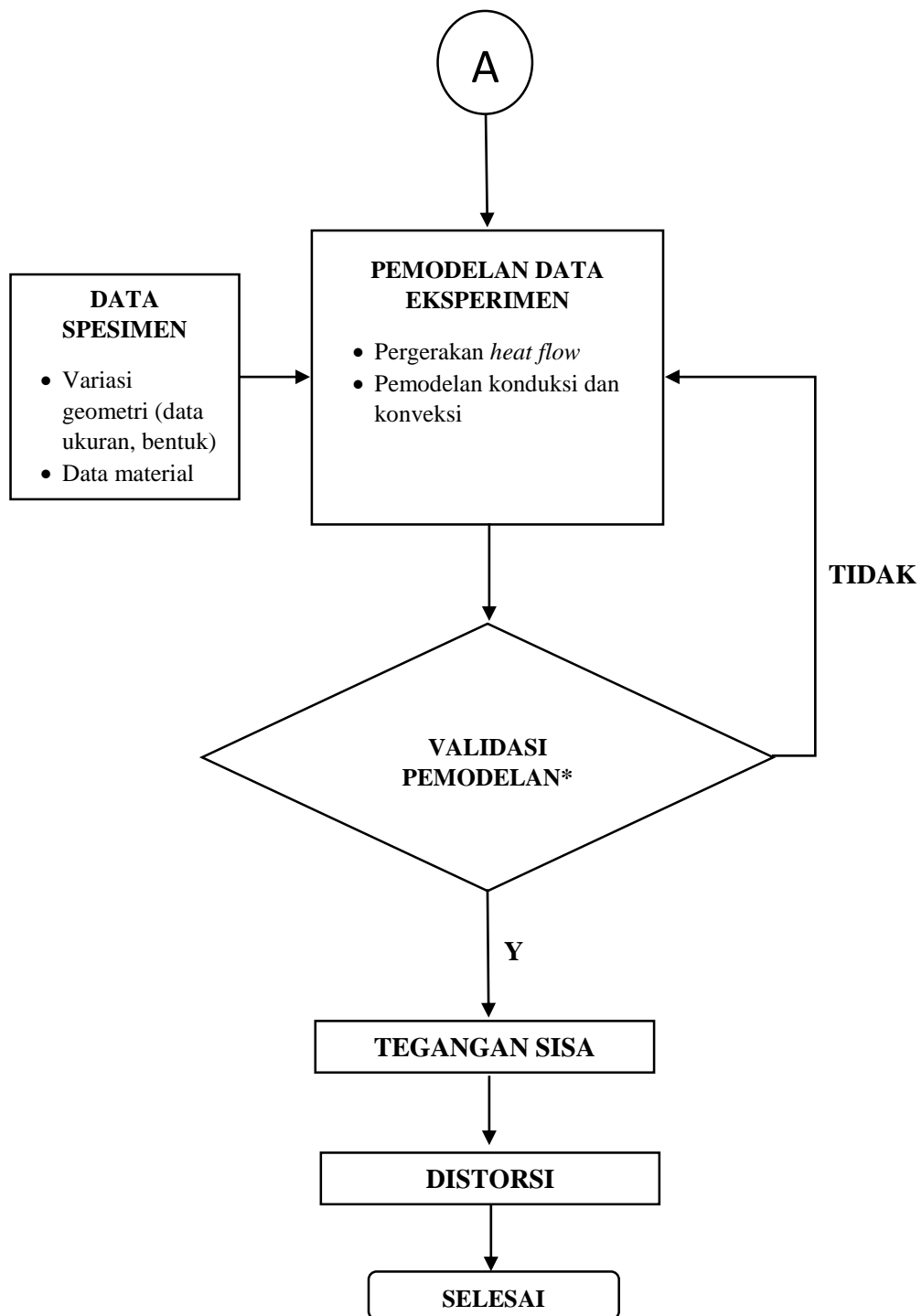
## BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir

Dalam pengerjaan tesis ini dilakukan beberapa tahapan dalam diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 3-1 sebagai berikut :



Gambar 3-1 Diagram alir pengerjaan penelitian tesis



**Gambar 3-1 Diagram alir pengerjaan penelitian tesis (lanjutan)**

\* Sesuai prosedur pemodelan yang tervalidasi dengan baku



## 3.2 Penjelasan Diagram Alir

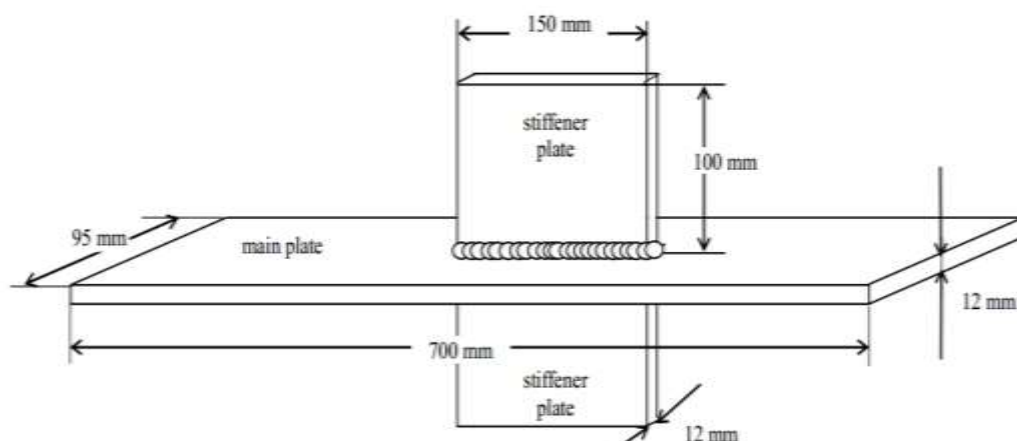
### 3.2.1 Studi literatur

Studi literatur yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi beberapa referensi diantaranya, buku, jurnal ilmiah, tesis, internet, media cetak dan informasi data-data pengujian dari penelitian sebelumnya yang berhubungan dengan proses pengelasan, kemudian dijadikan suatu perbandingan dengan menganalisa persamaan yang terkait. Studi literatur ini dimaksud untuk mencari sumber-sumber yang berhubungan dengan tujuan penelitian untuk mengetahui nilai tegangan sisa (*residual stress*) dan distorsi dari pengembangan variasi geometri untuk jenis material yang sama.

### 3.2.2 Data geometri

#### 3.2.2.1 Geometri sambungan pelat berpenegar memanjang

Data geometri diperoleh dari spesimen penelitian yang telah dilakukan oleh Syahroni (2014) dengan melakukan pengujian secara eksperimen. Spesimen tersebut merupakan bentuk sambungan pelat berpenegar memanjang yang banyak diaplikasikan pada struktur bangunan apung lepas pantai. Pada Gambar 3-2 diberikan gambaran mengenai sambungan pelat berpenegar memanjang dan pada Tabel 3-1 merupakan penjelasan tentang dimensi dari bagian pelat berpenegar memanjang.



**Gambar 3-2 Sambungan pelat berpenegar memanjang (Syahroni, 2014)**

**Tabel 3-1 Dimensi sambungan pelat berpenegar memanjang (Syahroni, 2014)**

No	Keterangan	Ukuran	Unit
1	Panjang <i>main plate</i>	700	mm
2	Lebar <i>main plate</i>	95	mm
3	Tebal <i>main plate</i>	12	mm
4	Panjang <i>stiffener plate</i>	150	mm
5	Lebar <i>stiffener plate</i>	100	mm
6	Tebal <i>stiffener plate</i>	12	mm

Pada Tabel 3-1 menunjukkan data komposisi material yang digunakan pada saat melakukan eksperimen. Data komposisi material digunakan untuk menentukan jenis atau tipe baja yang digunakan dalam pemodelan. Pada Tabel 3-2 ditunjukkan sifat material dari penelitian eksperimen yang telah dilakukan oleh Syahroni (2014). Dengan demikian dapat diketahui jenis atau tipe baja yang digunakan dalam penelitian dan pemodelan.

**Tabel 3-2 Data Komposisi kimia Material Untuk Spesimen (Syahroni, 2014)**

No	Elemen (%)	Spesimen	
		<i>Main plate</i>	<i>Stiffener</i>
1	C	0,170	0,140
2	Mn	0,152	0,670
3	Si	0,370	0,250
4	P	0,011	0,010
5	S	0,005	0,020
6	Al	0,028	-
7	Nb	0,044	-
8	V	0,002	-
9	Ni	0,001	0,001
10	Cr	0,002	0,001
11	Cu	0,003	0,003
12	Nb	0,044	-
13	N	0,0070	0,0100

**Tabel 3-3 Data Sifat Material untuk Tiap Spesimen (Syahroni, 2014)**

No	<i>Properties</i>	Spesimen	
		<i>Main plate</i>	<i>Stiffener</i>
1	<i>Yeild strength</i> $R_{cH}$ (N/mm <sup>2</sup> )	0,170	0,140
2	<i>Tensile stength</i> $R_m$ (N/mm <sup>2</sup> )	0,152	0,670
3	<i>Elongation</i> $\Delta L$ (%)	0,370	0,250
4	<i>Coef of reduction of area</i> (%)	0,011	0,010

Berdasarkan data yang diperoleh dari Tabel 3-1 dan Tabel 3-2 baja yang digunakan pada penelitian eksperimen yang telah dilakukan oleh Syahroni (2014) adalah jenis baja karbon rendah (*low carbon steel*). Dari data tersebut dilakukan penyesuaian terhadap jenis material yang sesuai atau mendekati nilai yang telah diperoleh. Pada Tabel 3-3 merupakan beberapa parameter prosedur pengelasan yang dilakukan oleh Syahroni (2014). Adapun parameter prosedur pengelasan mengacu pada data eksperimen yang telah dilakukan oleh Syahroni, (2014) adalah sebagai berikut :

**Tabel 3-4 Tabel data prosedur pengelasan (Syahroni, 2014)**

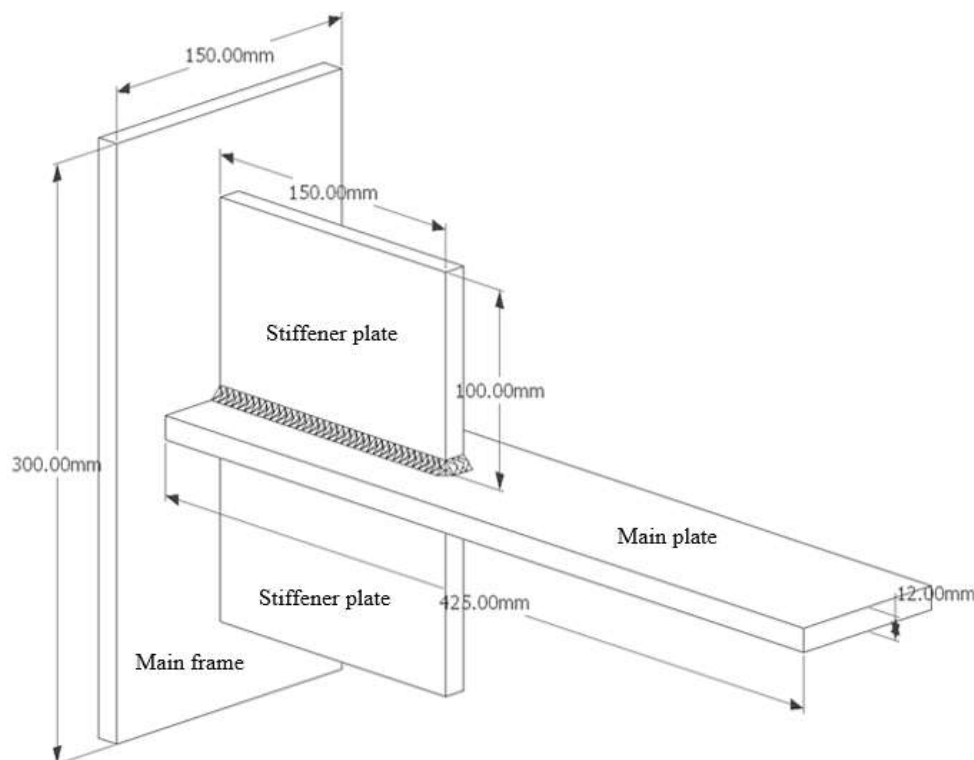
No	Parameter	Keterangan
1	Proses pengelasan	SMAW ( <i>Shielded Metal Arc Welding</i> )
2	Mesin las	Norgas 650
3	Arus	260 ampere
4	Voltase	240 volt
5	Kecepatan pengelasan	2,5 mm/detik
6	Tipe elektroda	Ferrod 165 A
7	Diameter elektroda	4 mm
8	Posisi pengelasan	2 F ( <i>horizontal fillet</i> )

Dalam penelitian ini hanya menggunakan beberapa parameter pada Tabel 3-4 (dari data eksperimen) untuk pemodelan numerik pada sambungan *bracket*. Parameter tersebut seperti, arus, voltase, kecepatan pengelasan (mengacu pada proses pengelasan) yang diperlukan untuk menghitung besarnya panas (*heat flux*) yang diberikan pada saat proses pemodelan pengelasan.

### 3.2.2.2 Geometri pemodelan sambungan *bracket*

Geometri sambungan *bracket* merupakan salah satu sambungan yang terdapat pada struktur FPSO yang telah dijelaskan pada bahasan sebelumnya mengenai dasar pengambilan geometri sambungan *bracket*. Dari Gambar 2-2 pada penampang 3 merupakan bentuk *real* yang ada pada salah satu struktur FPSO dan selanjutnya dilakukan simplifikasi terhadap bentuk geometri tersebut, sehingga dapat menjadi bentuk geometri yang lebih sederhana. Simplifikasi juga dilakukan untuk memudahkan proses pemodelan dan diharapkan nantinya dapat diaplikasikan pada kondisi yang sebenarnya.

Pada Gambar 3-3 dan Tabel 3-4 menunjukkan bentuk geometri dan dimensi sambungan *bracket* yang telah disimplifikasi berdasarkan dimensi pada pelat berpenegar memanjang (lihat Gambar 3-2). Adapun tujuan dari simplifikasi bentuk geometri ini untuk memudahkan dalam melakukan pemodelan secara numerik dan hasil pemodelan dapat divalidasi berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Syahroni (2014). Dari beberapa data yang telah diperoleh selanjutnya digunakan untuk melakukan pemodelan pada sambungan *bracket*.



**Gambar 3-3 Geometri simplifikasi sambungan *bracket* pada bagian struktur bangunan apung lepas pantai.**

**Tabel 3-5 Dimensi sambungan *bracket***

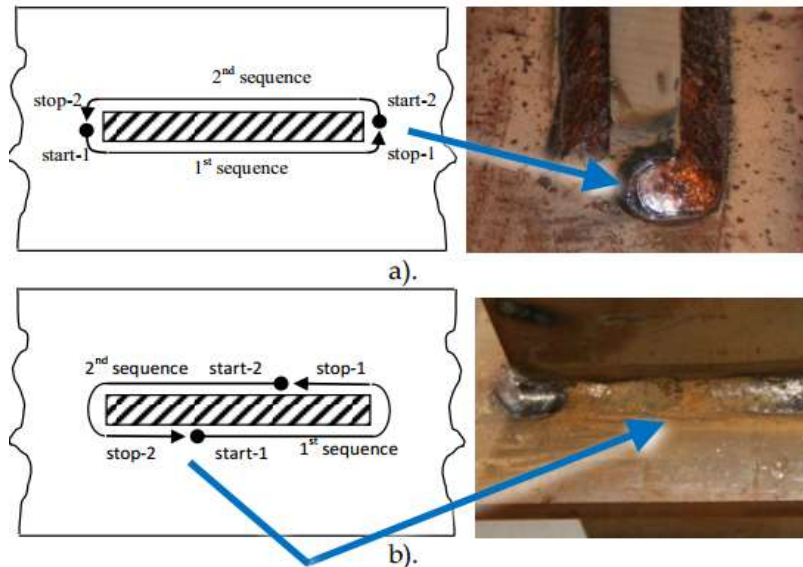
No	Keterangan	Ukuran	Unit
1	Panjang <i>main plate</i>	700	mm
2	Lebar <i>main plate</i>	95	mm
3	Tebal <i>main plate</i>	12	mm
4	Panjang <i>stiffener plate</i>	150	mm
5	Lebar <i>stiffener plate</i>	100	mm
6	Tebal <i>stiffener plate</i>	12	mm
7	Panjang <i>main frame</i>	300	mm
8	Lebar <i>main frame</i>	150	mm
9	Tebal <i>main frame</i>	12	mm

### **3.2.3.3 Urutan jalur pengelasan**

Urutan jalur pengelasan merupakan bagian yang penting dalam melakukan pengelasan baik secara fisik maupun numerik. Jalur pengelasan dilakukan untuk mengetahui sebaran panas pada proses pengelasan sehingga tidak terjadi panas terpusat pada material lasan. Pemilihan urutan jalur pengelasan juga dapat mempengaruhi hasil lasan. Hal ini disebabkan oleh distribusi panas yang terjadi pada saat melakukan pengelasan dapat menyebar dengan merata pada bagian yang di las maupun bagian disekitar pengelasan. Dengan demikian tidak timbul cacat pada pengelasan terutama terjadinya tegangan sisa.

Pada Gambar 3-4 merupakan skenario urutan jalur pengelasan yang dilakukan oleh Syahroni (2014) pada pelat berpenegar memanjang. Dari Gambar 3-4 dapat dilihat bahwa terdapat 2 (dua) skenario yang telah dilakukan berdasarkan urutan jalur pengelasan. Pada Gambar 3-4 (a) diperlihatkan skenario jalur pengelasan dimulai dari sisi tepi. Sedangkan pada Gambar 3-4 (b) menunjukkan skenario jalur pengelasan dimulai dari sisi tengah. Dari percobaan pada kedua skenario tersebut diperoleh masing-masing nilai tegangan sisa akibat pengaruh jalur pengelasan.

Dengan demikian urutan jalur pengelasan perlu menjadi pertimbangan untuk mencari nilai tegangan sisa akibat proses pengelasan.

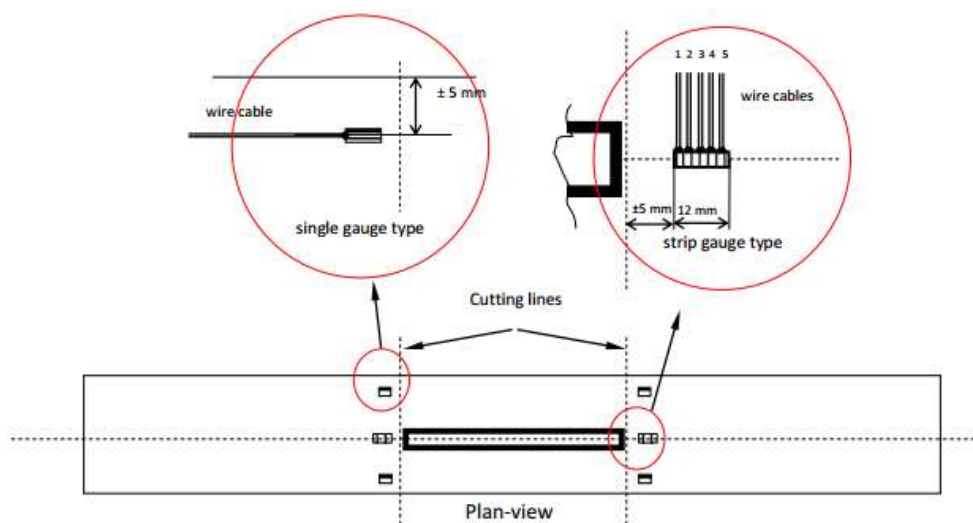


**Gambar 3-4 Skenario urutan jalur pengelasan eksperimen pada pelat berpenegar memanjang (Syahroni, 2014)**

### 3.2.3 Validasi Pemodelan

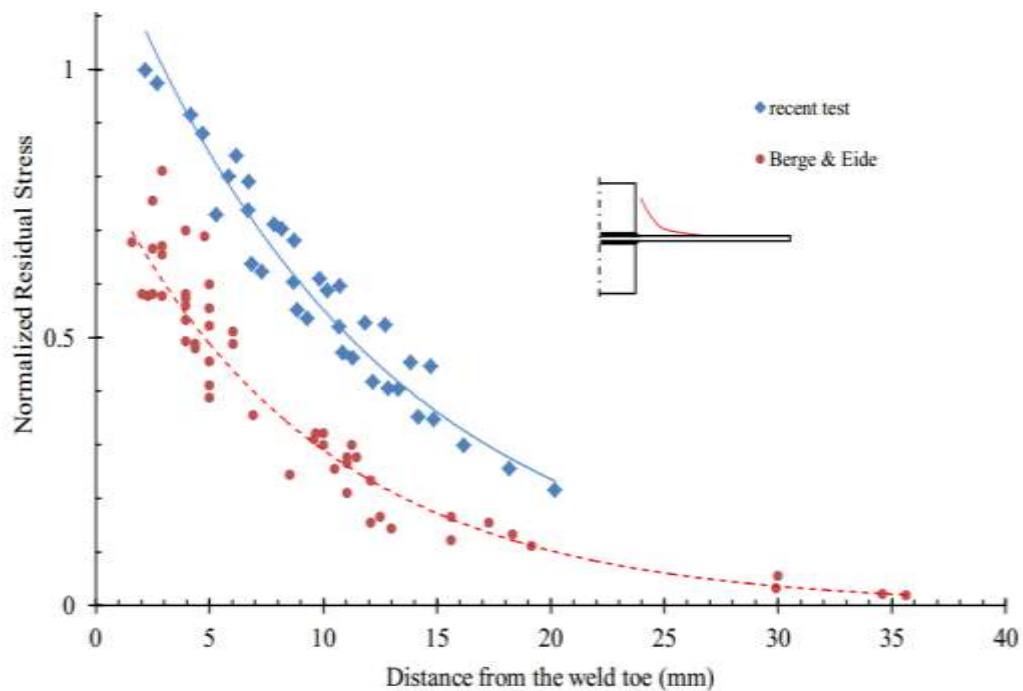
#### 3.2.3.1 Validasi Pemodelan Hasil Tegangan sisa

Pemodelan sambungan *bracket* divalidasi berdasarkan hasil penelitian eksperimen yang dilakukan oleh Syahroni (2014) pada sambungan pelat berpenegar memanjang (lihat gambar 3-1) untuk mengetahui distribusi tegangan sisa pada arah transversal dan longitudinal akibat pengelasan.



**Gambar 3-5 Skenario urutan jalur pengelasan eksperimen pada pelat berpenegar memanjang (Syahroni, 2014)**

Pada Gambar 3-5 merupakan gambaran mengenai proses pengambilan data yang dimulai dengan pemasangan alat *strain gauge* yang telah dilakukan oleh Syahroni (2014) untuk melihat fenomena regangan yang terjadi disekitar kaki lasan. Pemasangan alat *strain gauge* berdasarkan arah pengamatan yaitu arah longitudinal dan arah transversal. Masing-masing alat berfungsi sesuai dengan arah pengamatan sehingga diperoleh hasil tegangan sisa pada arah transversal dan longitudinal.

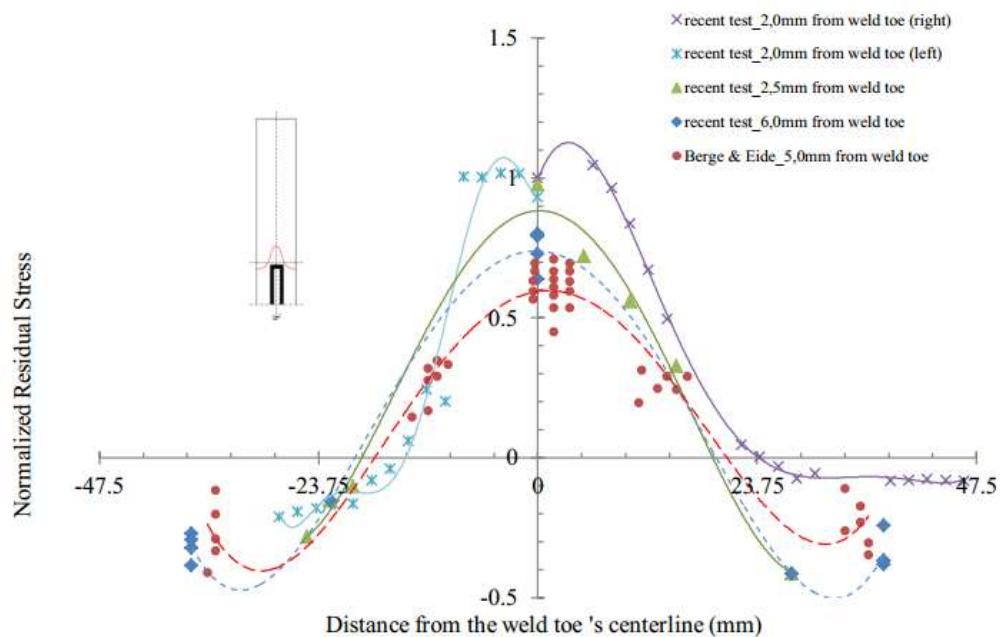


**Gambar 3-6 Distribusi Kurva Tegangan Sisa pada Penampang Arah Longitudinal (Syahroni, 2014)**

Dari proses diperoleh masing-masing data nilai tegangan sisa untuk arah longitudinal dan transversal. Pada Gambar 3-6 merupakan hasil nilai tegangan sisa arah longitudinal. Dalam hal ini data eksperimen pada pelat berpenegar memanjang yang dilakukan oleh Syahroni (2014) dibandingkan dengan data hasil eksperimen yang telah dilakukan oleh Berge & Eide (1982).

Pada Gambar 3-7 merupakan hasil data eksperimen yang dilakukan oleh Syahroni (2014) dengan jarak pengamatan 2 mm, 2.5 mm dan 6 mm dari kaki lasan (*weld toe*). Penelitian eksperimen sebelumnya telah dilakukan oleh Berge & Eide (1982) dengan jarak pengamatan 5 mm dari kaki lasan (*weld toe*).

Kedua data eksperimen tersebut selanjutnya dibandingkan berdasarkan nilai tegangan sisa yang diperoleh pada arah transversal sehingga masing-masing hasil pengukuran mendapatkan karakteristik yang diharapkan dapat sesuai dengan hasil eksperimen.



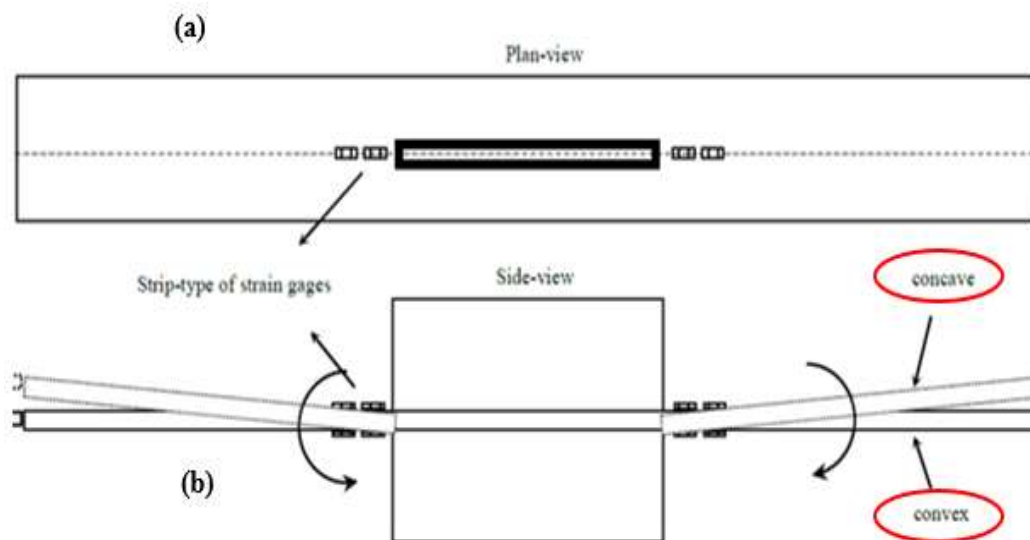
**Gambar 3-7 Skenario urutan jalur pengelasan eksperimen pada pelat berpenegar memanjang (Syahroni, 2014)**

### 3.2.3.2 Validasi Pemodelan Hasil Distorsi

Validasi pemodelan hasil distorsi pada sambungan *bracket* juga mengacu pada penelitian eksperimen yang telah dilakukan oleh Syahroni (2014). Pada Gambar 3-8 merupakan pola distorsi yang terjadi pada sambungan pelat berpenegar memanjang.

Pada Gambar 3-8 (a) menunjukkan letak *strain gauge* untuk mengukur distorsi pada pelat berpenegar memanjang. Sedangkan pada Gambar 3-8 (b) merupakan gambaran pola distorsi yang terbentuk pada pelat berpenegar memanjang. Pola distorsi disebut dengan istilah *concave* dan *convex*. *Concave* adalah pola cekungan dan *convex* adalah pola cembung. Dari definisi *concave* dan *convex* dapat dilihat pola distorsi yang terjadi pada sambungan pelat berpenegar memanjang seperti pada Gambar 3-8.

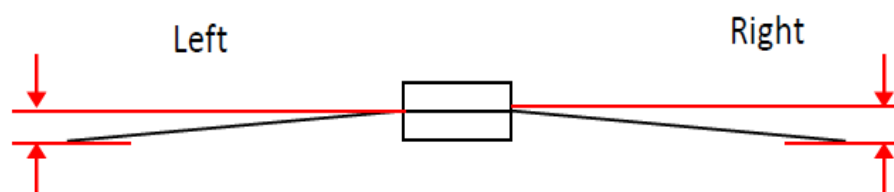




**Gambar 3-8 Pola distorsi pada sambungan pelat berpenegar memanjang (Syahroni, 2014)**

Pengukuran besarnya distorsi dapat dilakukan dengan pengamatan berdasarkan hasil pergerakan yang diterima pada alat *strain gauge*. Selain mengetahui besarnya nilai distorsi, pengamatan tersebut juga dapat mengetahui pola yang terbentuk.

Perilaku besarnya jarak pola yang terbentuk (*concave* atau *convex*) dapat diketahui dengan melakukan pengukuran seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3-9. Dengan demikian dari Gambar 3-8 dan 3-9 dapat diketahui proses pengukuran distorsi pada pemodelan sambungan *bracket* akibat pengaruh proses pengelasan.



**Gambar 3-9 Ilustrasi pengukuran distorsi pada sambungan pelat berpenegar memanjang (Syahroni, 2014)**

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

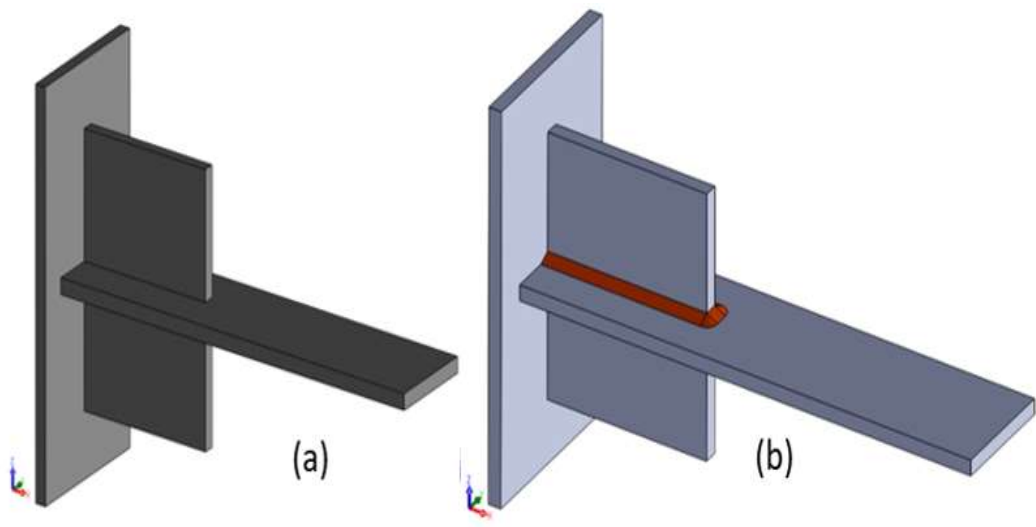
## BAB 4

### ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pemodelan Geometri Spesimen *Bracket* Pengelasan

Bentuk geometri yang dianalisis pada penelitian ini merupakan pengembangan dari salah satu sambungan *bracket* yang ada pada struktur bangunan apung lepas pantai (lihat Gambar 4-1) Pengambilan bentuk geometri tersebut mengacu pada hasil penelitian eksperimen dilakukan oleh Syahroni (2014) yaitu jenis sambungan pada pelat berpenegar memanjang (lihat Gambar 3-2).

Pemodelan sambungan *bracket* merupakan bentuk simplifikasi dari salah satu sambungan yang terdapat pada struktur bangunan apung lepas pantai yakni struktur FPSO. Dalam hal ini struktur FPSO tidak dibahas secara detail mengenai jenis dan fungsi dari struktur tersebut. pada Gambar 4-1 (a) merupakan penampang bentuk model geometri awal *bracket* yang belum dilakukan pemodelan pengelasan, sedangkan pada Gambar 4-1 (b) merupakan gambaran penampang bentuk geometri *bracket* dengan pemodelan pengelasan. Bahasan mengenai pemodelan pengelasan dilanjutkan pada bagian selanjutnya tentang proses pemodelan pengelasan secara keseluruhan.



**Gambar 4-1** Penampang bentuk geometri pemodelan sambungan Bracket

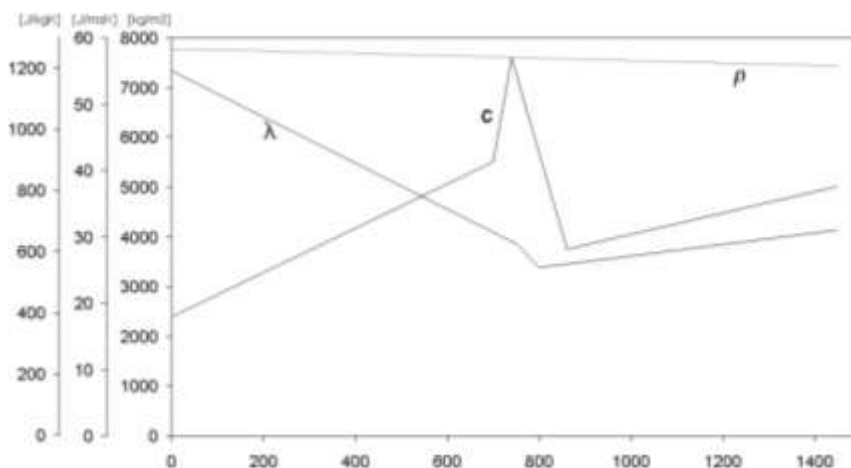
Untuk mendapatkan hasil pemodelan yang baik perlu dilakukan beberapa tahapan validasi sebelum melakukan pemodelan.

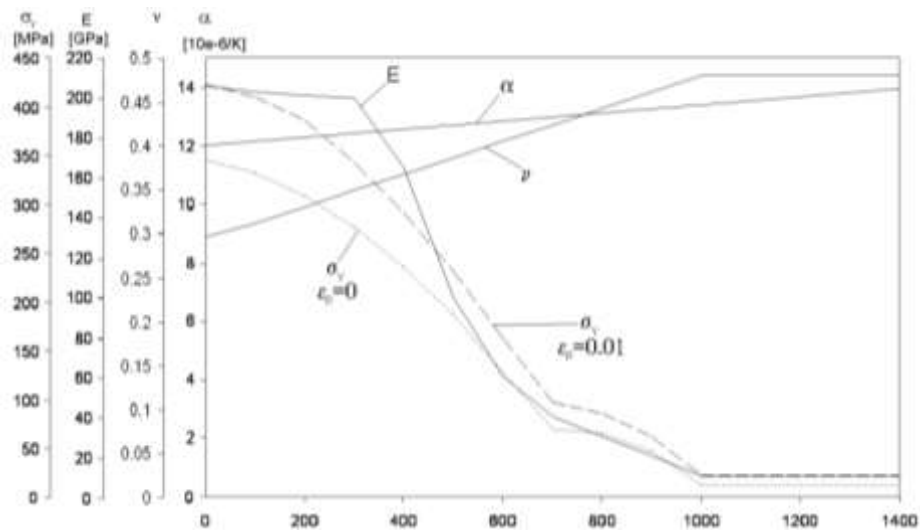
Tahapan awal yang digunakan untuk melakukan pemodelan secara numerik dengan memvariasikan beberapa bentuk *meshing* yang sesuai dengan kriteria pemodelan dan harus mendekati hasil penelitian yang dilakukan secara fisik. Dalam hal ini validasi pemodelan numerik untuk sambungan *bracket* pada bangunan lepas pantai mengacu berdasarkan hasil penelitian secara fisik yang telah dilakukan oleh Syahroni (2014) dengan melakukan eksperimen terhadap pelat berpenegar memanjang.

## 4.2 Data Material pada Temperatur Tinggi

Pemodelan yang dilakukan harus menggunakan data material yang sesuai atau mendekati dengan data material yang digunakan pada penelitian eksperimen. Hal ini bertujuan agar sifat material yang dimodelkan sama atau mendekati dengan kondisi *real* pada saat melakukan eksperimen. Data material untuk melakukan pemodelan dapat diperoleh dari berbagai sumber yang dapat dipertanggungjawabkan dan memiliki kesamaan yang cukup signifikan terhadap hasil yang pada spesimen eksperimen.

Data material yang digunakan untuk pemodelan pada sambungan *bracket* diperoleh dari data Pilipenko (2001) dapat dilihat pada Gambar 4-2. Dari data tersebut didapatkan beberapa parameter yang mendukung proses pemodelan. Sedangkan untuk jenis baja yang digunakan dalam penelitian Pilipenko (2001) ialah jenis baja ASTM A131. Baja ASTM A131 merupakan jenis baja karbon rendah dan banyak digunakan pada industri konstruksi galangan kapal dan industri manufaktur. Jenis baja ASTM A131 juga memiliki beberapa kelebihan diantaranya memiliki tingkat keuletan yang tinggi.





**Gambar 4-2 Data material untuk jenis baja ASTM A131**

Pada Tabel 4-1 diberikan data komposisi kimia material untuk baja ASTM A131. Data komposisi kimia sangat penting untuk mengetahui sifat mekanik pada struktur baja dan mengetahui klasifikasi menurut kandungan kadar karbon. Menurut Surdia,dkk (1999) klasifikasi baja karbon rendah adalah baja yang memiliki kandungan karbon sebesar 0,05 – 0,30 %. Sehingga baja ASTM A131 masuk dalam *range* baja karbon rendah.

**Tabel 4-1 Komposisi kimia material untuk baja ASTM A131**

Notasi	Elemen	Komposisi, (wt %)
C	<i>Carbon, max</i>	0.18
Mn	<i>Manganese</i>	0.90 – 1.60
P	<i>Phosphorous, max</i>	0.035
S	<i>Sulphur, max</i>	0.04
Si	<i>Silicon</i>	0.10 – 0.50
Ni	<i>Nickel, max</i>	0.40
Cr	<i>Chromium, max</i>	0.25
Mo	<i>Molybdenum, max</i>	0.08
Cu	<i>Copper, max</i>	0.35
Nb	<i>Niobium, max</i>	0.05
V	<i>Vanadium, max</i>	0.10
Al	<i>Aluminium</i>	0.015 – 0.020

Pemilihan jenis baja ASTM A131 berdasarkan nilai komposisi kimia materialnya cukup representatif dibandingkan dengan nilai komposisi kimia yang dilakukan pada penelitian eksperimen Syahroni (2014) yang terdapat pada Tabel 3-2. Hal ini dapat dilihat dari unsur *carbon* yang terkandung dari baja ASTM A131 mendekati nilai unsur *carbon* pada penelitian eksperimen dan unsur-unsur lainnya memiliki perbedaan yang tidak signifikan. Dari pembahasan diatas maka baja ASTM A131 dianggap sesuai untuk digunakan dalam pemodelan *bracket*.

#### **4.3 Skenario jalur pengelasan pada pemodelan sambungan *bracket***

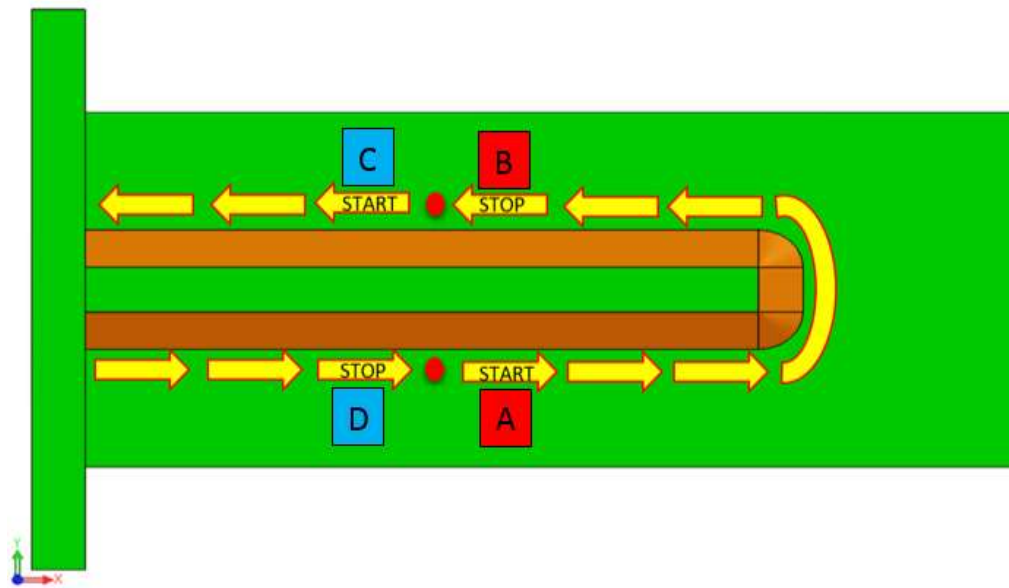
Pemodelan pada sambungan *bracket* dilakukan dengan dua skenario. Skenario yang dilakukan berdasarkan urutan jalur pengelasan dan skenario ini mengacu dari hasil penelitian eksperimen yang sebelumnya telah dilakukan oleh Syahroni (2014). Hasil skenario dapat dilihat pada Gambar 3-4.

Tujuan dari skenario pemodelan jalur pengelasan adalah untuk mendapatkan nilai tegangan sisa dan distorsi yang dihasilkan akibat pengaruh pengelasan dari masing-masing skenario dan selanjutnya menganalisa hasil yang diperoleh untuk membandingkan dengan hasil karakteristik grafik pada penelitian eksperimen untuk pelat berpenegar memanjang yang telah dilakukan oleh Syahroni (2014)

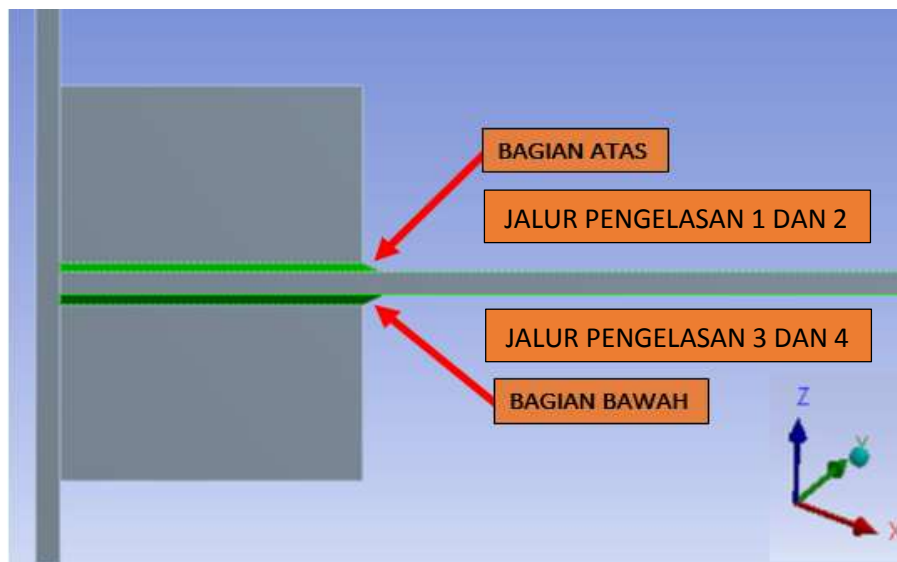
Skenario pertama dilakukan pemodelan dengan urutan jalur pengelasan yang dimulai dari sisi tengah yang ditunjukkan pada Gambar 4-3. Prosedur pemodelan pengelasan berdasarkan urutan jalur pengelasan.

Untuk jalur pengelasan 1 (satu) dimulai dari titik A sampai titik B dan untuk jalur pengelasan 2 (dua) dimulai dari titik C sampai D (lihat Gambar 4-3). Sedangkan untuk jalur pengelasan 3 (tiga) dan 4 (empat) dimulai dari titik yang sama seperti jalur pengelasan 1 (satu) dan 2 (dua), tetapi pada posisi yang berbeda.

Pada Gambar 4-4 menunjukkan posisi pengelasan berdasarkan urutan jalur pengelasan. Pada Gambar 4-4 jalur pengelasan 1 (satu) dan 2 (dua) berada pada posisi bagian atas. Sedangkan jalur pengelasan 3 (tiga) dan 4 (empat) berada pada posisi bagian bawah.

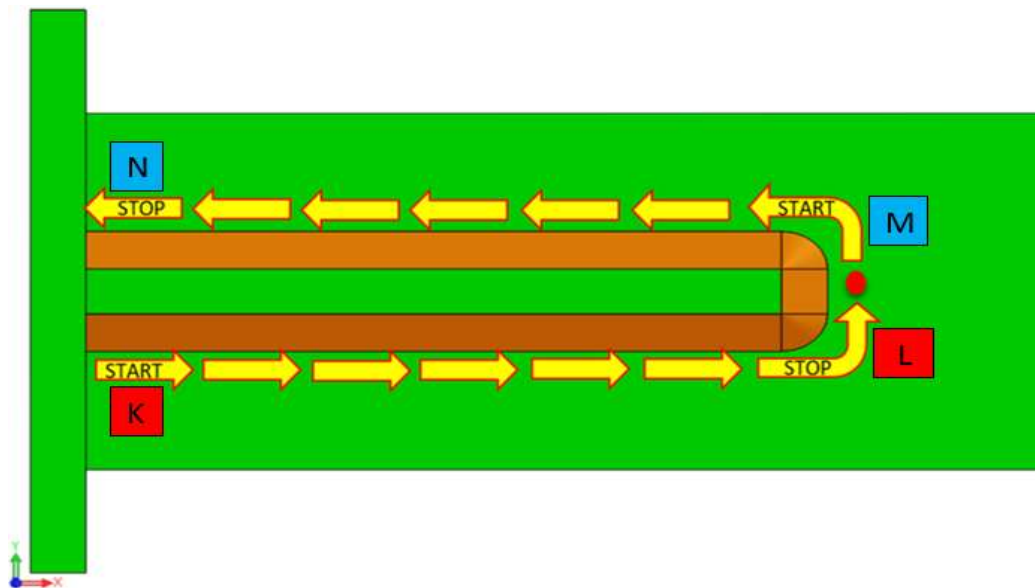


**Gambar 4-3 Ilustrasi jalur pengelasan dari sisi tengah**



**Gambar 4-4 Ilustrasi posisi pengelasan berdasarkan jalur pengelasan**

Skenario kedua dilakukan pemodelan dengan urutan jalur pengelasan yang dimulai dari sisi tepi yang ditunjukkan pada Gambar 4-5. Urutan jalur pengelasan ini merupakan hasil pengembangan terhadap urutan jalur pengelasan yang terdapat pada penelitian eksperimen yang telah dilakukan oleh Syahroni (2014). Pada skenario ini jalur pengelasan 1 (satu) dimulai dari titik K sampai titik L dan untuk jalur pengelasan 2 (dua) dimulai dari titik M sampai titik N. Sedangkan untuk jalur pengelasan 3 (tiga) dan 4 (empat) dilakukan pada titik yang sama, tetapi pada posisi sebaliknya (lihat Gambar 4-4).



**Gambar 4-5 Ilustrasi jalur pengelasan dari sisi tepi**

Dari hasil pemodelan kedua skenario diatas (lihat Gambar 4-3 dan 4-5) maka diperoleh nilai tegangan sisa dan besarnya distorsi untuk sambungan *bracket*.

#### **4.4 Pemodelan Numerik Spesimen *Bracket* Pengelasan**

Pemodelan numerik merupakan sebuah metode yang banyak digunakan untuk menyelesaikan masalah yang sangat kompleks dan sulit dilakukan dengan eksperimen. Menurut Setia B. Sasongko (2010) menyelesaikan permasalahan yang kompleks dapat menggunakan pemodelan numerik secara sederhana dalam bentuk matematis, yang kemudian dilakukan validasi terhadap hasil eksperimen.

Pemodelan numerik yang dilakukan pada spesimen sambungan *bracket* menggunakan bantuan perangkat komputer dengan program *software*. Komputasi dilakukan berdasarkan data penelitian agar mendekati hasil eksperimen yang telah dilakukan oleh Syahroni (2014). Untuk melakukan pemodelan dibutuhkan beberapa input data yang dimasukkan dalam proses pemodelan. Data yang diperlukan antara lain, data material propertis dan tipe elemen pemodelan.

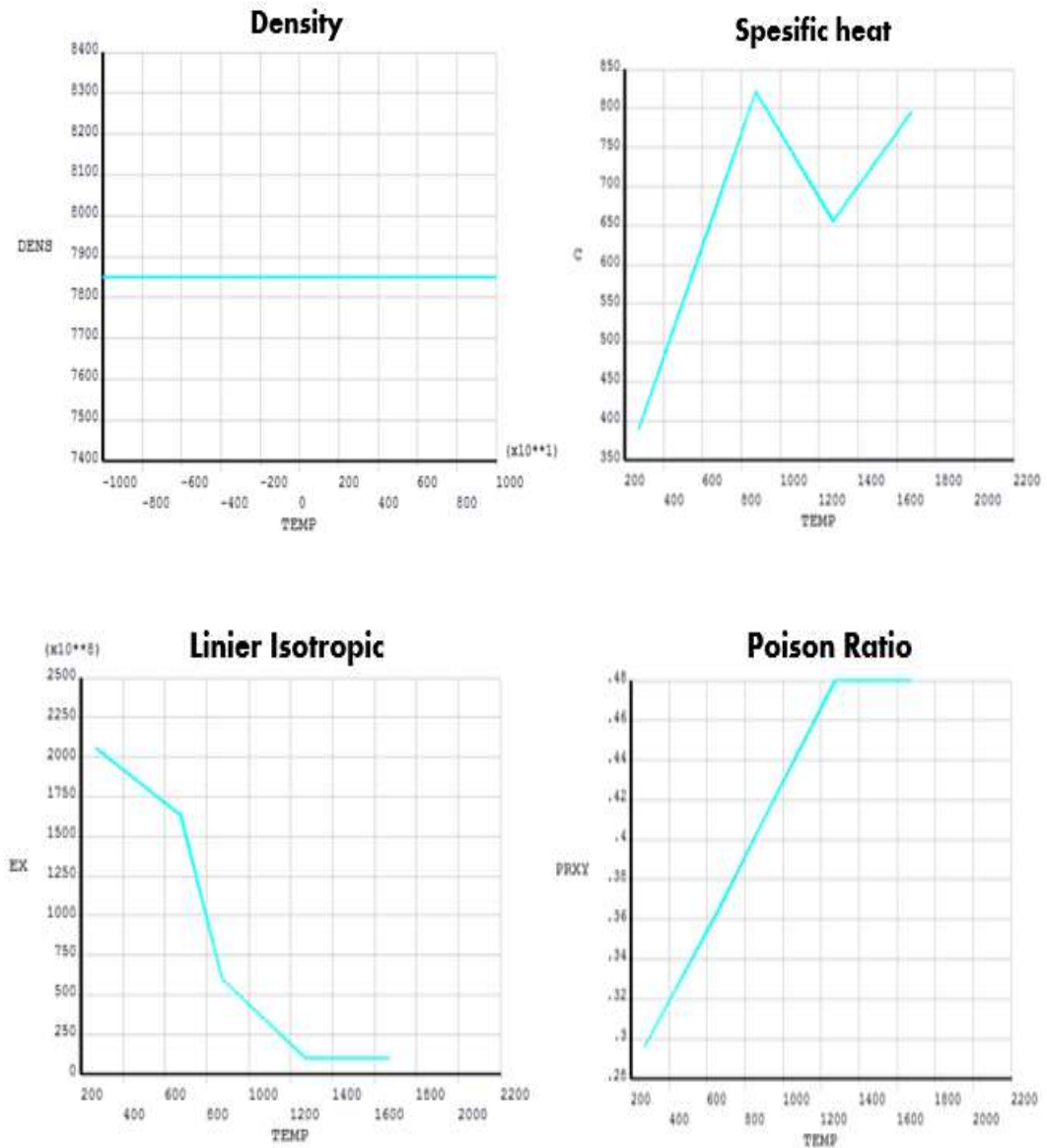
Pemodelan pengelasan pada spesimen *bracket* dilakukan berdasarkan kondisi pengelasan yang dilakukan dalam eksperimen pada sambungan pelat berpenegar memanjang yang dilakukan oleh Syahroni (2014). Pemodelan pengelasan dilakukan dengan dua pendekatan yakni pemodelan termal dan struktural.

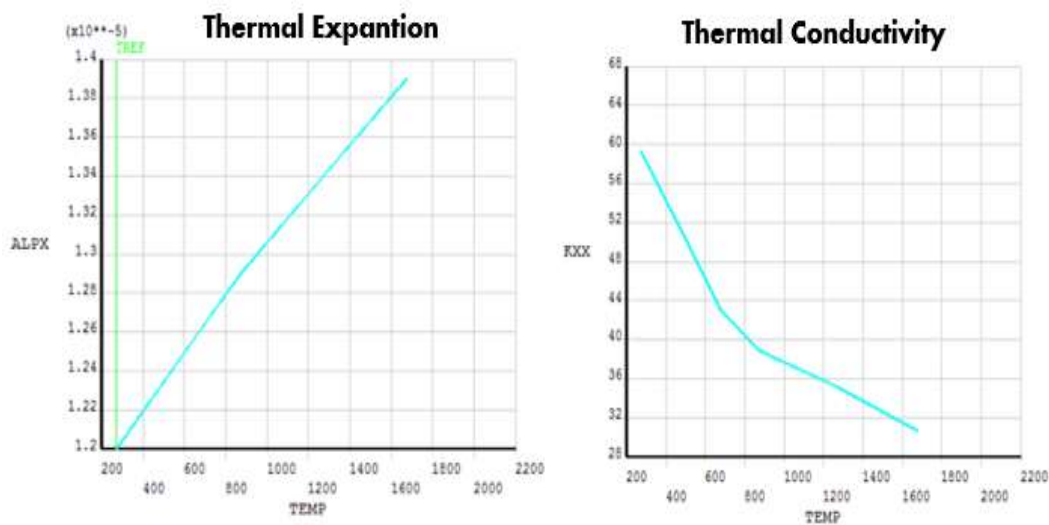


Pemodelan termal dilakukan untuk mengetahui kondisi termal yang terjadi pada saat proses pengelasan, sedangkan pemodelan struktural dilakukan untuk mengetahui perilaku spesimen sambungan *bracket* akibat pengaruh proses pengelasan. Dari tahapan pemodelan tersebut diharapkan mendekati hasil eksperimen.

#### 4.4.1 Input data material pada pemodelan numerik

Dari Gambar 4-6 dapat diuraikan mengenai data material yang digunakan untuk pemodelan. Berikut ini ditunjukkan beberapa parameter data yang digunakan pemodelan berdasarkan penelitian eksperimen.





**Gambar 4-6** Input parameter data material yang digunakan dalam pemodelan numerik untuk jenis baja ASTM A131

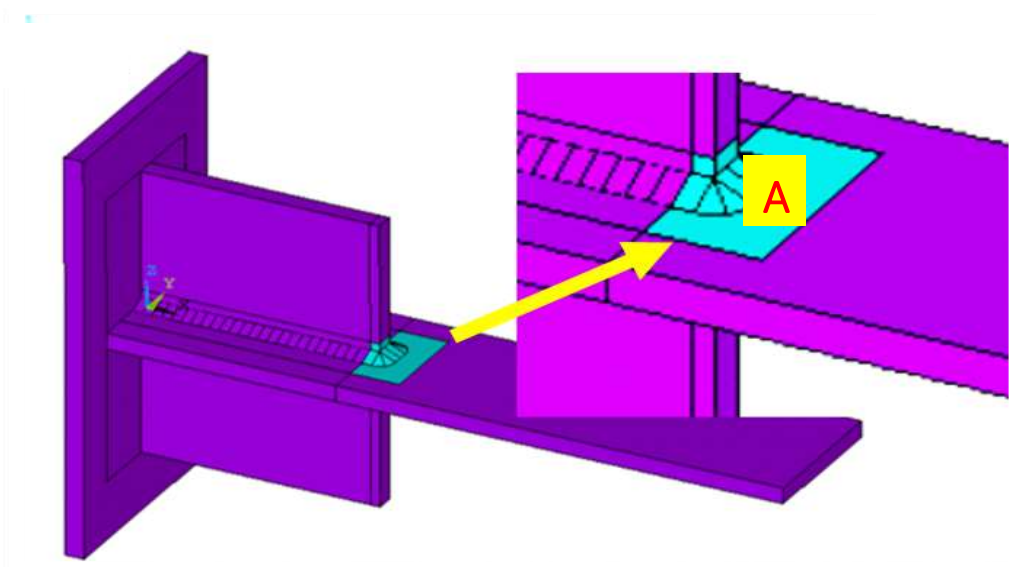
#### 4.4.2 Pemilihan Tipe Elemen dan Optimalisasi Ukuran *Meshing*

Bentuk geometri sangat mempengaruhi tipe elemen yang digunakan. Dalam hal ini geometri pemodelan sambungan bracket memiliki bagian tidak sama yaitu pada daerah tikungan depan kaki lasan (*weld bead*) seperti yang ditunjukkan titik A pada Gambar 4-4. Tipe elemen dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa bentuk elemen, diantaranya tipe elemen solid 70, solid 90, solid 185 dan solid 186 dengan bentuk pyramid, tetrahedral dan prisma (lihat Gambar 2-7).

Tipe elemen harus menyesuaikan bentuk geometri pemodelan, sehingga dilakukan percobaan untuk menentukan tipe elemen yang sesuai dengan bentuk geometri. Dari hasil percobaan pemodelan pada sambungan *bracket* diperoleh tipe elemen yang sesuai dengan bentuk geometri pada titik A adalah elemen solid 90, sedangkan untuk daerah lainnya (warna ungu) menggunakan solid 70 (lihat Gambar 4-7)

Pemilihan tipe elemen solid 90 pada titik A, disebabkan oleh pada daerah tersebut hanya dimungkinkan untuk dilakukan dengan tipe elemen *quadratic* yaitu tipe elemen yang terdapat pada solid 90. Hal ini menjadikan daerah pada titik A hanya dapat dilakukan dengan *meshing tetra*. Sehingga diharapkan dapat memberikan hasil pemodelan yang baik dan dapat dipertanggungjawabkan.

Sedangkan untuk tipe elemen 70 yang terdapat pada daerah warna ungu tidak menggunakan tipe elemen *quadratic* sehingga bentuk *meshing* yang dihasilkan berupa *meshing hexa*. Hal ini juga berpengaruh terhadap jumlah *node* yang dihasilkan. Solid 70 memiliki jumlah *node* yang lebih sedikit dibandingkan dengan solid 90 tipe elemen *quadratic*.



**Gambar 4-7 Pemilihan tipe elemen berdasarkan bentuk geometri**

Berdasarkan tipe elemen yang telah diperoleh, tahapan berikutnya adalah melakukan pemodelan *meshing* pada sambungan *bracket* sesuai dengan tipe elemen masing-masing.

*Meshing* adalah pembagian sebuah benda menjadi beberapa bagian atau pada metode elemen hingga ini disebut dengan diskritisasi. Diskritisasi adalah proses pembagian dari pemodelan struktur/objek sehingga terbentuk elemen-elemen kecil dengan ukuran tertentu yang terhubung dengan *node* sebagai batas dari struktur/objek. *Meshing* merupakan bagian yang sangat penting dalam penelitian pemodelan berbasis elemen hingga. Dalam pemodelan *meshing* sangat berguna untuk mempermudah perhitungan terhadap sebuah model yang di analisis. Sebelum melakukan tahap pemodelan terlebih dahulu dilakukan analisis terhadap *meshing* dengan memvariasikan beberapa ukuran *meshing*. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan ukuran *meshing* yang tepat sampai ukuran *meshing* tidak mempengaruhi hasil yang telah ditetapkan sehingga dalam melakukan pemodelan tidak mengalami perubahan pada ukuran *meshing*.

Hubungan variasi ukuran *meshing* dengan validasi pemodelan adalah untuk mengetahui karakteristik hasil grafik pemodelan dengan hasil grafik penelitian eksperimen yang dilakukan oleh Syahroni (2014). Dengan demikian diperoleh kesepakatan ukuran *meshing* yang dilakukan untuk pemodelan selanjutnya. Pemodelan variasi *meshing* dibedakan atas ukuran elemen global dan ukuran elemen pada kaki lasan (*weld bead*). Hal ini dilakukan agar variasi ukuran *meshing* fokus pada area kaki lasan (*weld bead*) dan dapat menghemat kapasitas penyimpanan (*memory*) sehingga dapat mengurangi biaya pada saat melakukan komputasi.

Berdasarkan perbedaan variasi pemodelan ukuran *meshing*. Pada Tabel 4-2 dilakukan beberapa skenario untuk percobaan pemodelan ukuran *meshing* dengan masing-masing jumlah *node* dan elemennya.

Pada Tabel 4-2 juga menunjukkan durasi waktu komputasi yang dibutuhkan dalam pemodelan variasi ukuran *meshing*. Dari Tabel 4-2 parameter yang ditinjau untuk pemodelan dengan variasi ukuran *meshing* diantaranya adalah ukuran elemen global (model secara keseluruhan), ukuran elemen pada area *weld bead*, jumlah *node* dan elemen serta waktu komputasi.

**Tabel 4-2 pemodelan variasi ukuran *meshing***

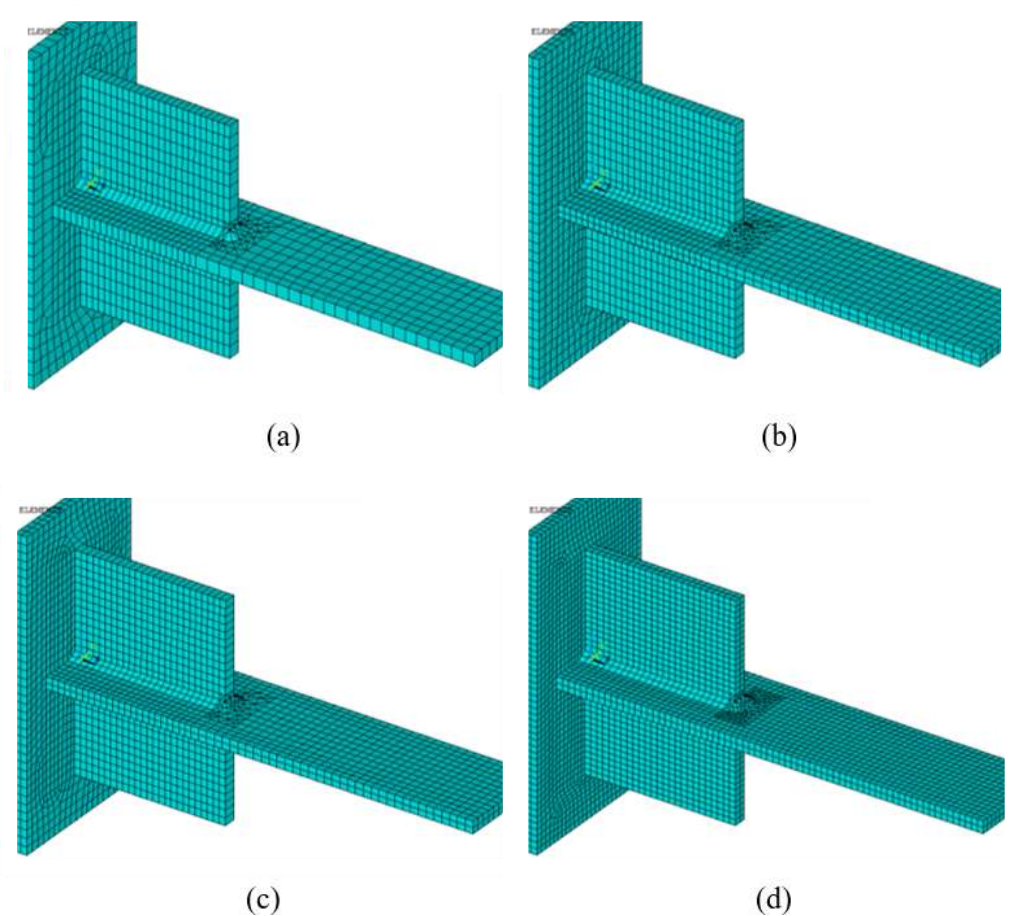
<b>Ukuran Elemen <i>global</i> (mm)</b>	12	9	8	6	6	6
<b>Ukuran Elemen <i>weld bead</i> (mm)</b>	12	12	8	6	5	4
<b>Jumlah <i>Node</i></b>	3421	6420	7868	13003	14320	14353
<b>Jumlah Elemen</b>	1681	3865	4777	8386	9204	9280
<b>Waktu Komputasi Total (menit)</b>	30	54	66	102	126	132

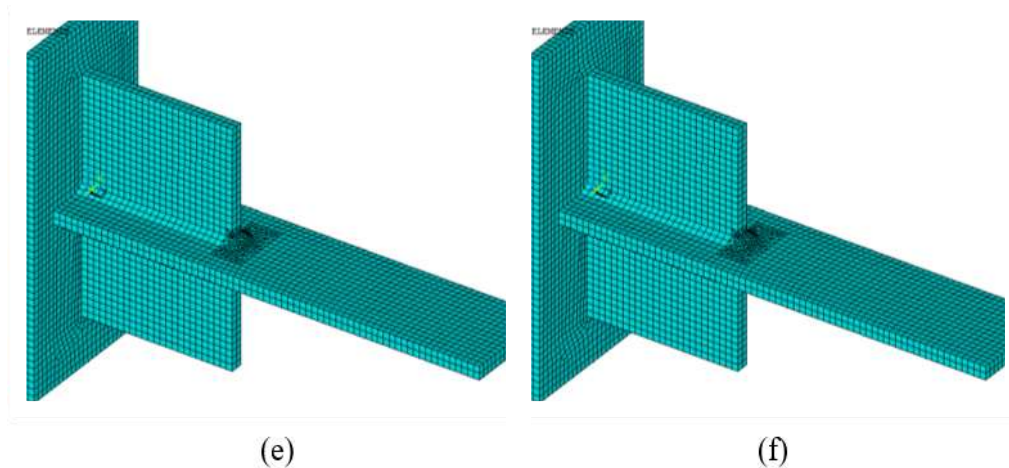
Hasil yang diperoleh pada Tabel 4-2 menunjukkan beberapa perbedaan yang menarik pada hasil pemodelan ukuran *meshing*. Perbedaan pertama dapat dilihat dari hasil jumlah elemen dan *node*. Jumlah elemen dan *node* yang dihasilkan pada pemodelan *meshing* dengan ukuran *weld bead* 4 mm hampir sama dengan pemodelan *meshing* dengan ukuran *weld bead* 5 mm dan 6 mm. Hal ini juga berlaku

pada pemodelan *meshing* dengan ukuran *weld bead* 8 mm dan 12 mm. Sedangkan pemodelan *meshing* dengan ukuran *weld bead* 12 mm memiliki jumlah elemen dan *node* yang paling sedikit.

Perbedaan kedua dapat dilihat dari waktu komputasi total berdasarkan masing-masing ukuran *meshing*. Dari hasil yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa semakin kecil ukuran elemen *meshing*, maka waktu komputasi yang diperlukan untuk melakukan pemodelan juga semakin lama. Dalam hal ini durasi yang diperlukan dalam proses komputasi dengan beberapa ukuran *meshing* juga menjadi pertimbangan khusus karena menyangkut dengan efisiensi terhadap lamanya waktu yang dibutuhkan untuk melakukan sebuah pemodelan.

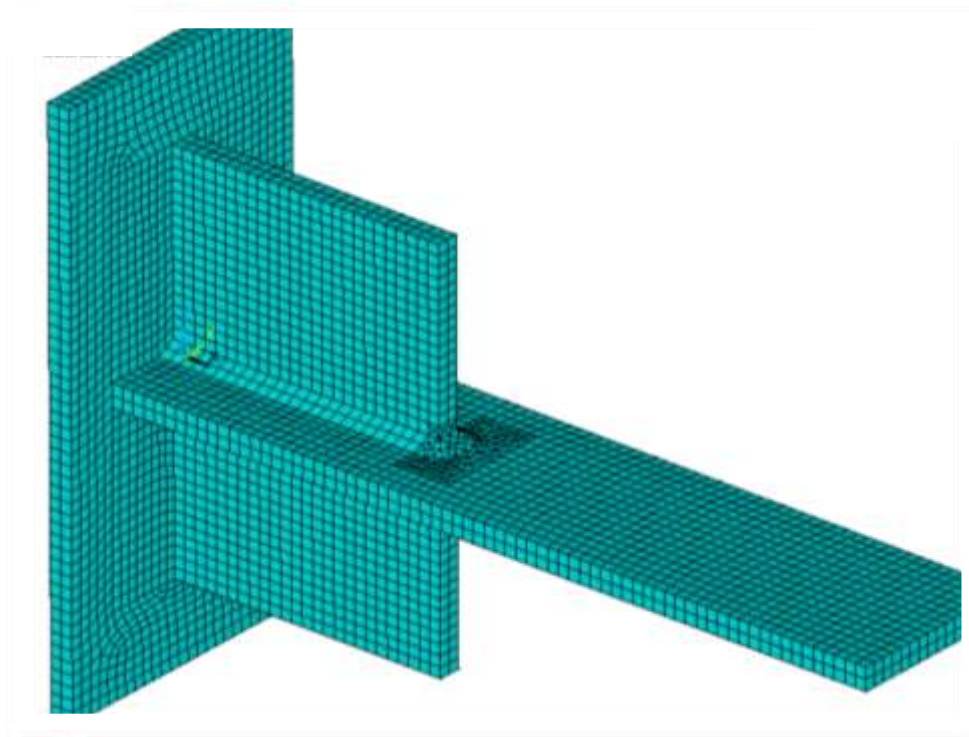
Pada Gambar 4-8 merupakan hasil dari pemodelan variasi ukuran *meshing* yang terdapat pada Tabel 4-2 dengan ukuran masing-masing. Dalam hal ini pemodelan *meshing* dilakukan pada seluruh bagian dari geometri sambungan *bracket* dengan tipe elemen yang berbeda.





**Gambar 4-8 Hasil pemodelan variasi *meshing* dengan ukuran, (a) *meshing* 12 mm, (b) *meshing* 9 mm, (c) *meshing* 8 mm, (d) *meshing* 6 mm, (e) *meshing* 6-5 mm dan (f) *meshing* 6-4 mm**

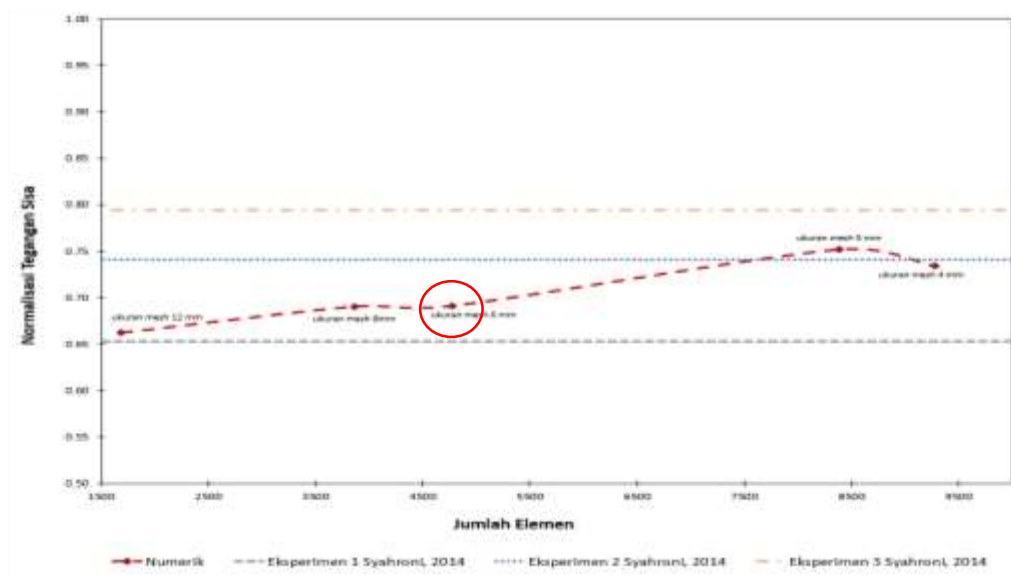
Pada Gambar 4-8 pada semua *meshing* yang terdapat pada daerah kaki lasan (*weld toe*) berbentuk *tetra*, sedangkan pada daerah yang lainnya *meshing* didominasi dengan bentuk *hexa*. Hal ini disebabkan pada daerah kaki lasan (*weld bead*) memiliki bentuk geometri yang lebih kompleks dibandingkan dengan bentuk geometri pada daerah lain.



**Gambar 4-9 Beberapa penampang bentuk geometri untuk sambungan bracket dengan ukuran *meshing* 6 mm**



Hasil pemodelan variasi ukuran *meshing* berdasarkan Tabel 4-2 dengan nilai efisiensi 70 % dapat dilihat pada Gambar 4-10. Dalam hal ini plot grafik hanya menampilkan beberapa hasil *meshing* berdasarkan jumlah elemennya yang sesuai dengan kriteria terhadap hasil tegangan sisa dari eksperimen Syahroni (2014).



**Gambar 4-10 Sensitivitas jumlah elemen *meshing* terhadap tegangan sisa di *centerline* pada jarak 6 mm dari *weld toe***

Karakteristik grafik hasil pemodelan variasi *meshing* yang ditunjukkan pada Gambar 4-10 dapat diketahui bahwa ada semua titik masuk kedalam rentang hasil eksperimen dari Syahroni (2014) diantaranya adalah ukuran *meshing* 12 mm, 8 mm, 6 mm pada ukuran elemen global dan 5 mm, 4 mm pada ukuran *weld bead*. Tetapi dari beberapa hasil ukuran *meshing* tersebut, hasil yang terbaik adalah pada *meshing* 6 mm pada ukuran elemen global dan ukuran elemen *weld bead*.

Berdasarkan pembahasan diatas dan mengacu dari hasil Tabel 4-2 dan melihat bentuk hasil *meshing* pada Gambar 4-8 maka dapat disimpulkan bahwa pemodelan untuk sambungan *bracket* pada bangunan apung lepas pantai dapat menggunakan ukuran *meshing* 6 mm (lihat Gambar 4-8, d). dan Gambar 4-9 dengan beberapa pertimbangan yaitu diantaranya memiliki jumlah *node* dan elemen yang tidak terlalu banyak dan yang terpenting adalah efisiensi waktu komputasi yang sangat baik. Sehingga diharapkan dapat memudahkan proses pemodelan dan memperoleh hasil pemodelan numerik mendekati hasil pemodelan fisik sebagai validasi.

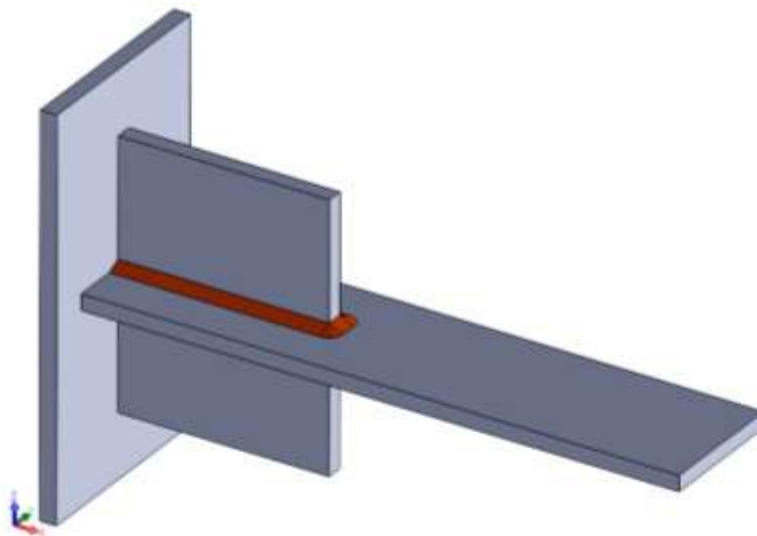
#### 4.4.3 Pemodelan Termal

Pemodelan termal dilakukan dengan menggunakan tipe elemen solid 70 dan solid 90 (lihat Gambar 2-7). Pemilihan tipe elemen ini berdasarkan karakteristik sifat elemen yang sangat sesuai untuk pemodelan termal.

Pemodelan termal pada pengelasan sambungan *bracket* bertujuan untuk menentukan dan mengetahui panas yang diberikan pada saat melakukan pemodelan, serta pengaruh panas terhadap hasil pemodelan pengelasan. Dalam hal ini panas yang diberikan pada saat pemodelan berupa *heat flux*. Sebelum menghitung besarnya *heat flux* yang diberikan dalam pemodelan ada beberapa tahapan yang harus dilakukan dalam pemodelan termal. Tahapan awal adalah menghitung luas area yang diberikan panas berdasarkan kecepatan pengelasan yang merupakan bagian dari parameter pengelasan yang dilakukan pada penelitian eksperimen (lihat Tabel 3-4).

##### 4.4.3.1 Perhitungan luas area Terkena beban *heat flux*

Pemodelan luas area merupakan proses yang sangat penting dalam melakukan pemodelan pengelasan. Perhitungan luas area bertujuan untuk mengetahui dan mendefinisikan bagian yang diberikan panas, sehingga proses pemodelan dapat dilakukan dengan benar sesuai dengan kondisi real di lapangan. Perhitungan luas area harus sesuai dengan profil lasan. Hal ini untuk memudahkan dalam mendefinisikan bentuk geometri lasan.



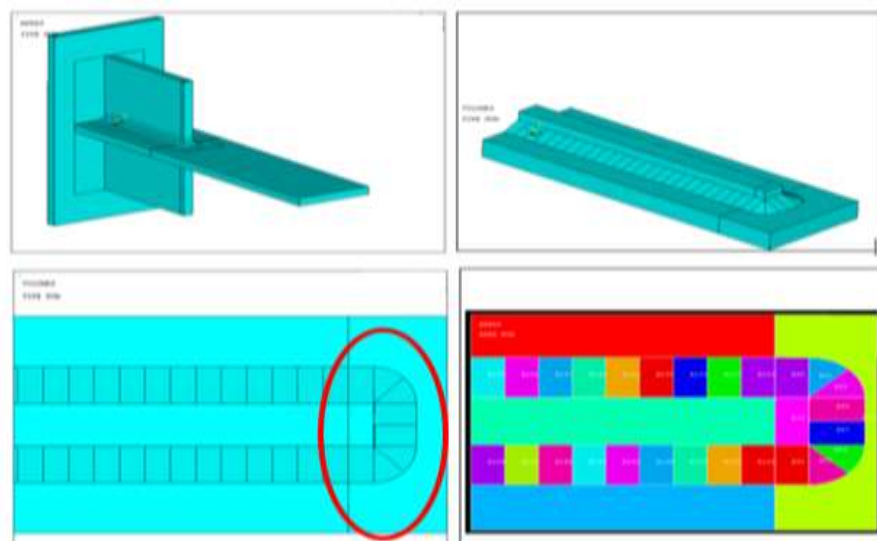
**Gambar 4-11 Ilustrasi jalur pengelasan dalam pemodelan sambungan *bracket*.**



Profil lasan dalam pemodelan ini mengacu pada penelitian eksperimen yang telah dilakukan pada pelat berpenegar memanjang oleh Syahroni (2014). Proses yang dilakukan pada saat melakukan eksperimen adalah jenis pengelasan *fillet* pada pelat berpenegar memanjang dengan ketebalan 12 mm. Berdasarkan Tabel 2-2 diberikan hubungan ketebalan pelat dengan panjang kaki lasan, sehingga dapat menjadi landasan untuk menentukan profil lasan pada sambungan *bracket*. Pada Gambar 4-11 ditunjukkan bentuk profil lasan dari sambungan *bracket*.

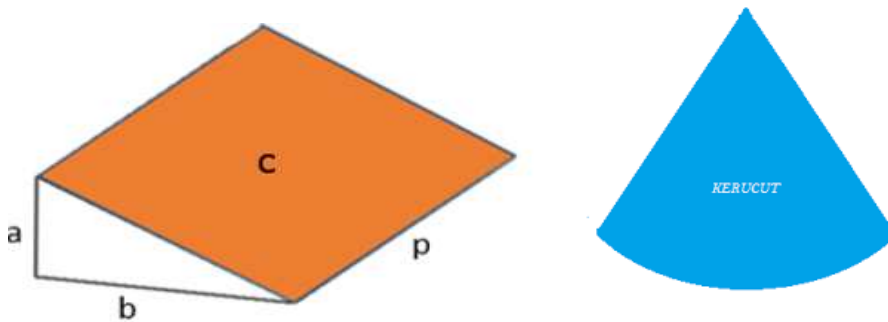
Penampang area lasan (area berwarna merah) yang dimodelkan harus dibagi beberapa bagian. Pembagian area lasan bertujuan untuk mendekati kondisi real pada saat pengelasan. Pada dasarnya proses pengelasan berpindah dari satu titik menuju titik yang lain berdasarkan arah dan kecepatan pengelasan. Dalam hal ini pembagian dapat dilakukan berdasarkan kecepatan pengelasan.

Kecepatan pengelasan berdasarkan penelitian eksperimen pada pelat berpenegar memanjang adalah 2,5 mm/detik (lihat Tabel 3-4). Sedangkan untuk pemodelan pengelasan pada sambungan *bracket* adalah 2 detik, sehingga besarnya area yang diperoleh adalah 5 mm. Dengan demikian dapat dilakukan pembagian pada area lasan berdasarkan nilai kecepatan pengelasan untuk pemodelan sambungan *bracket* yaitu sebesar 5 mm per 2 detik. Pada Gambar 4-12 merupakan hasil pembagian area lasan berdasarkan kecepatan pengelasan pada pemodelan sambungan *bracket*.



**Gambar 4-12 Hasil pembagian area pengelasan untuk pemodelan sambungan *bracket*.**

Dari hasil pembagian yang ditunjukkan pada Gambar 4-12, selanjutnya menghitung luas area yang diberikan panas. Dalam hal ini ada perbedaan bentuk geometri lasan setelah dilakukan pembagian. Sehingga perlu mengetahui volume dari masing-masing sebelum menghitung luas area. Pada Gambar 4-13 diberikan bentuk geometri yang dapat mewakili bentuk geometri secara keseluruhan. Gambar 4-13 (a) merupakan bentuk geometri prisma, sedangkan Gambar 4-13 (b) adalah bentuk geometri potongan kerucut yang bagi delapan.



**Gambar 4-13 (a) Bentuk geometri prisma, (b) Bentuk geometri potongan kerucut.**

Dari Gambar 4-12 perlu dihitung besarnya volume dari masing-masing bentuk geometri. Untuk bentuk geometri prisma dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2-1 dan kemiringan prisma dapat menggunakan persamaan 2-2 sehingga diperoleh :

$$V = \frac{1}{2} b \times a \times p$$

$$V = \frac{1}{2} 10 \text{ mm} \times 5 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$$

$$V = 125 \text{ mm}^3$$

sehingga kemiringan prisma diperoleh :

$$C = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$C = \sqrt{5^2 + 10^2}$$

$$C = 11.180 \text{ mm}$$

Setelah semua parameter diatas telah diperoleh, maka luas area prisma dapat diketahui dengan menggunakan persamaan 2-3 sebagai berikut :

$$A = C \times p$$

$$A = 11.180 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$$

$$A = 55.9016 \text{ mm}^2$$

$$A = 5.59 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

Sedangkan untuk volume bentuk potongan seperdelapan kerucut dapat diketahui dengan menggunakan persamaan 3-1 sebagai berikut :

$$V = \frac{1}{8} \times \frac{1}{3} \times \pi \times r^2 \times t$$

$$V = \frac{1}{8} \times \frac{1}{3} \times 3.14 \times 5^2 \times 5$$

$$V = 16.354 \text{ m}^3$$

Dengan demikian hasil perhitungan luas area yang telah diperoleh, selanjutnya dapat digunakan untuk menentukan besarnya nilai panas berupa *heat flux* yang diberikan dalam pemodelan pengelasan pada sambungan *bracket*.

#### 4.4.3.2 Analisa Hasil Variasi *heatflux*

Pemodelan variasi nilai efisiensi pengelasan bertujuan untuk membuktikan nilai yang telah diperoleh dari standar pengelasan SMAW (lihat Tabel 2-1) yang diaplikasikan pada penelitian pemodelan sambungan pengelasan *bracket* pada struktur bangunan apung lepas pantai. Efisiensi pengelasan sangat berpengaruh terhadap besarnya nilai panas (*heat flux*) pada proses pemodelan pengelasan. Pemodelan variasi nilai efisiensi menggunakan ukuran *meshing* 6 mm yang telah ditetapkan pada bahasan sebelumnya. Rentang nilai yang digunakan dalam percobaan pemodelan variasi efisiensi mengacu pada nilai yang telah ditetapkan untuk jenis pengelasan SMAW yaitu antara 66 % sampai 85 % Grong (1994).

Perhitungan *heatflux* dilakukan berdasarkan beberapa parameter pengelasan. Dalam hal ini parameter pengelasan mengacu pada penelitian eksperimen (lihat Tabel 3-4). Parameter yang sangat menentukan besarnya nilai *heatflux* adalah nilai efisiensi (pengelasan SMAW), besarnya voltase dan kuat arus yang digunakan dalam pengelasan. Berdasarkan beberapa parameter diatas dan dengan menggunakan persamaan 2-4 dapat diperoleh panas per detik.

$$Q_i = \eta \times I \times v$$

$$Q_i = 0.7 \times 230 \times 24$$

$$Q_i = 3864 \text{ watt (J/s)}$$

Selanjutnya untuk mengetahui besarnya nilai *heatflux* berdasarkan panjang area dan kecepatan pengelasan per-detik dapat menggunakan persamaan 2-5 sebagai berikut :

$$H_{flux} = \frac{Q_i \times p}{v}$$

$$H_{flux} = \frac{3864 \times 5}{2,5}$$

$$H_{flux} = 7728 \text{ watt}$$

Untuk mengetahui besarnya nilai *heatflux* yang digunakan untuk melakukan pemodelan pada sambungan *bracket* dapat menggunakan persamaan 2-6 sebagai berikut :

$$Q_{flux} = \frac{H_{flux}}{A}$$

$$Q_{flux} = \frac{7728}{5.59 \times 10^{-5}}$$

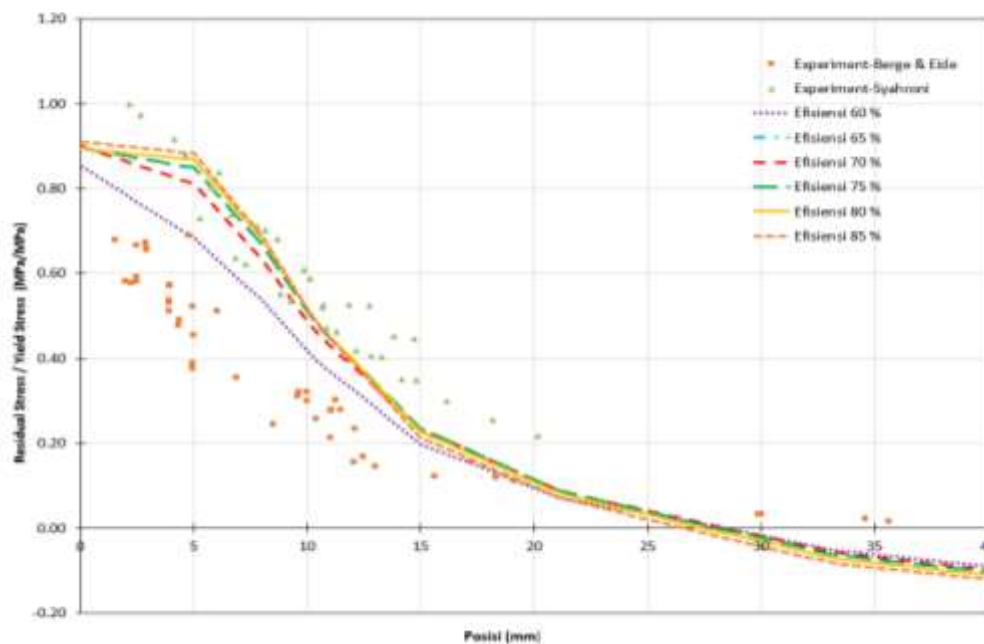
$$Q_{flux} = 138.242.667 \text{ watt / m}^2$$

Perhitungan *heatflux* yang telah diperoleh diatas berdasarkan nilai efisiensi 70 %. Untuk nilai *heatflux* dengan variasi nilai efisiensi dapat dilihat pada Tabel 4-2. Variasi nilai *heatflux* diperoleh dari proses pengelasan SMAW yaitu antara 66 % sampai 85 %.

**Tabel 4-3 Variasi nilai efisiensi berdasarkan pengelasan SMAW**

No	Efisiensi (%)	Heatflux (watt / m <sup>2</sup> )
1	60	118.493.714
2	65	128.368.190
3	70	138.242.667
4	75	148.117.143
5	80	157.991.619
6	85	167.866.095

Hasil pemodelan variasi efisiensi dengan ukuran *meshing* 6 mm dapat dilihat pada plot Gambar 4-14. Hasil pemodelan divalidasi berdasarkan hasil eksperimen yang telah dilakukan Syahrone (2014). Dari hasil pemodelan variasi efisiensi semua grafik mendekati dengan hasil eksperimen, kecuali nilai efisiensi 60 %. Dalam hal ini perlu menentukan satu hasil yang paling tepat untuk dilakukan pemodelan selanjutnya. Pemilihan nilai efisiensi juga melihat *output* besarnya nilai *heat flux* akibat pengaruh efisiensi. Dengan demikian dari hasil pertimbangan tersebut diperoleh nilai efisiensi yang paling tepat adalah efisiensi 70 %.



**Gambar 4-14 Hasil pemodelan variasi nilai efisiensi (SMAW)**

#### **4.4.3.3 Analisa Siklus Termal**

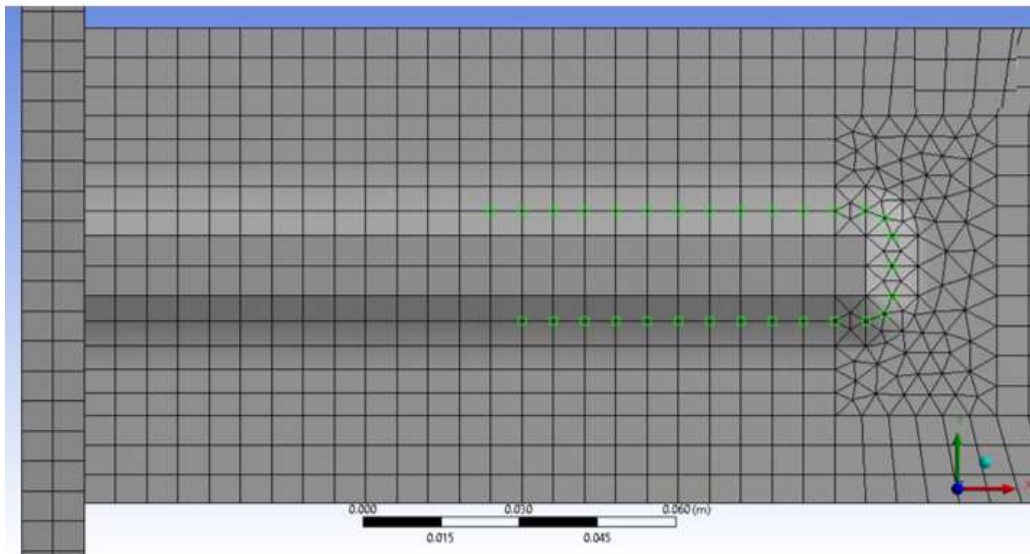
Proses pengelasan secara umum merupakan bentuk perubahan temperatur terhadap waktu. Analisa termal sangat diperlukan pada pengelasan untuk mengetahui besarnya perubahan suhu yang terjadi pada saat pengelasan terhadap laju pertambahan waktu.

Panas yang terjadi pada saat proses pengelasan dapat dihitung tiap waktu sepanjang area pengelasan. Dalam pemodelan pengelasan, panas yang terjadi dapat dilihat pada tiap *node* sepanjang jalur pengelasan. Temperatur pada tiap *node* mengalami perubahan terhadap waktu, sehingga masing-masing *node* memiliki perbedaan temperatur akibat proses pengelasan.

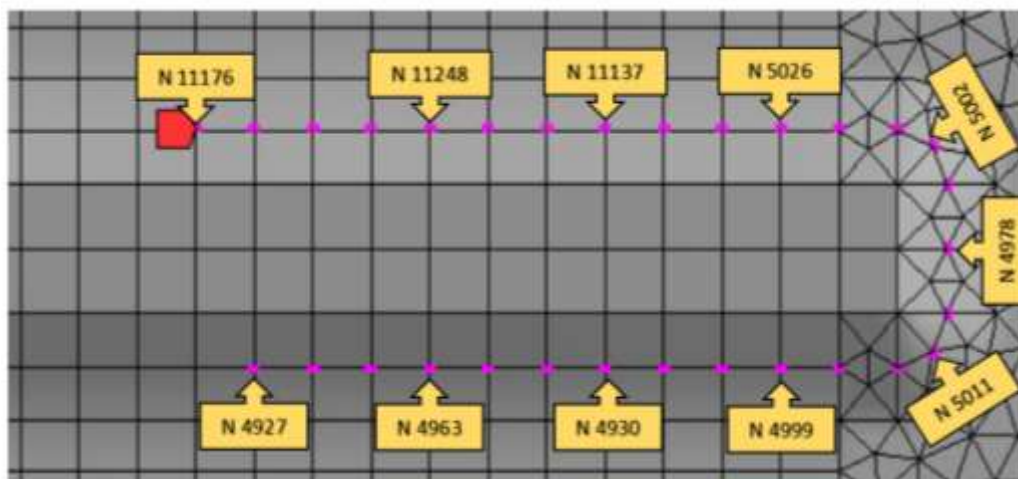
Analisa termal pada pemodelan sambungan *bracket* dilakukan berdasarkan urutan jalur pengelasan dari masing-masing skenario. Tiap skenario memiliki 4 jalur pengelasan yang mempunyai perbedaan temperature pada tiap *node* terhadap waktu.

Skenario pertama (lihat Gambar 4-3) ditinjau pada jalur pengelasan 1 yang ditunjukkan pada Gambar 4-15 (a). Sedangkan proses pengambilan data dilakukan hanya pada beberapa *node* yang dianggap dapat mewakili nilai temperatur dari hasil pemodelan pengelasan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-15 (b).

Daerah yang menjadi perhatian khusus adalah pada beberapa *node* yang berada pada tikungan depan *weld toe* yang nantinya dilihat pengaruh pengelasan terhadap tegangan sisa. Masing-masing *node* memiliki beban panas yang berbeda yang bergantung pada besarnya panas yang diberikan dan lamanya waktu pengelasan. Pada Gambar 4-15 (a) dapat dilihat bahwa pengambilan data dilakukan pada *node* yang berada pada bagian tengah. Hal ini diharapkan dapat mewakili *node-node* yang ada disekitarnya dan lebih akurat hasil yang diperoleh.



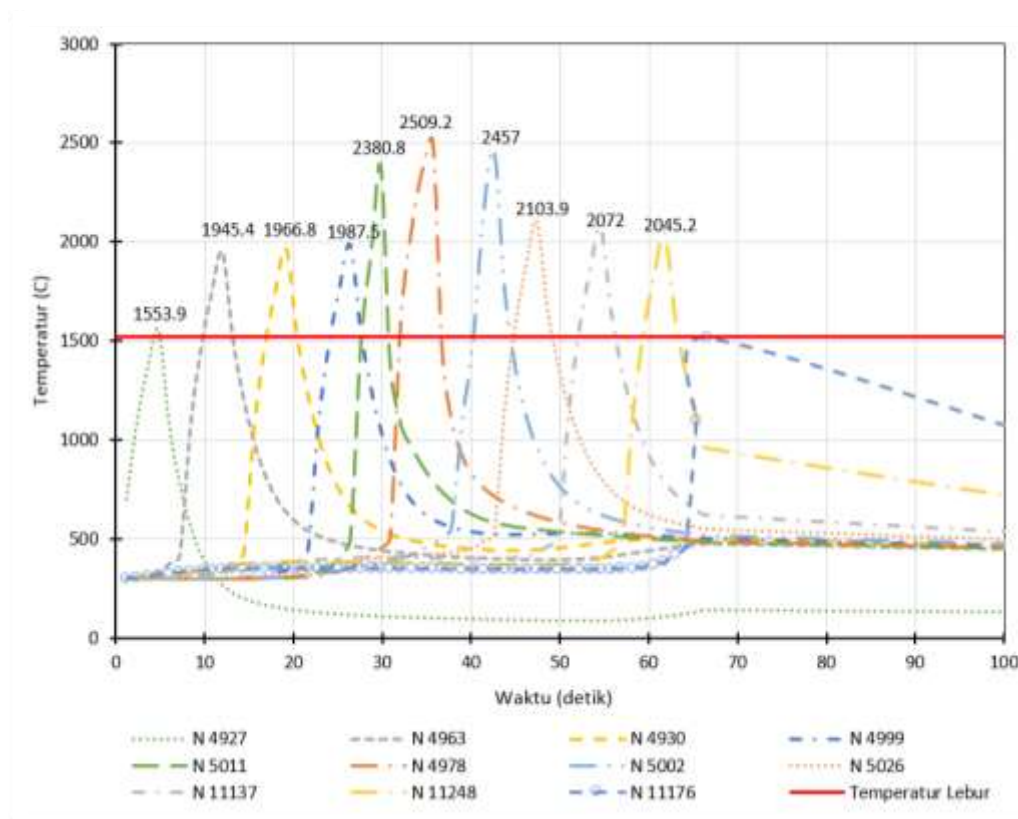
(a)



(b)

Gambar 4-15 (a) letak *node* pada jalur pengelasan 1, (b) proses pengambilan data pada beberapa *node* yang mewakili jalur pengelasan 1

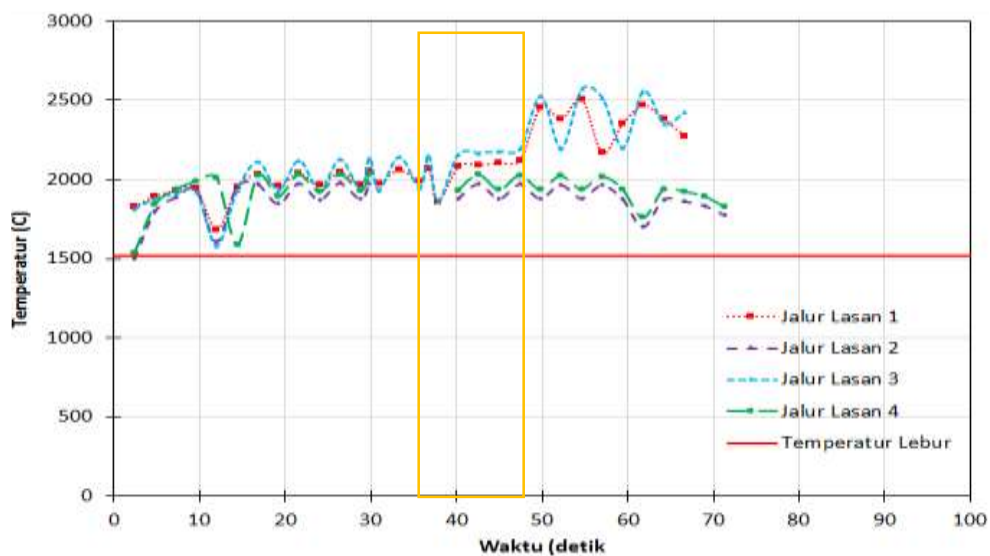
Pada penelitian ini untuk mengetahui laju waktu pengelasan terhadap perubahan temperatur diperoleh dari data tiap *node* pada area lasan (*weld bead*). Pada Gambar 4-16 menunjukkan beberapa hasil perubahan temperatur terhadap waktu pada tiap *node* untuk pemodelan pengelasan sambungan *bracket*.



**Gambar 4-16 Perubahan Temperatur terhadap waktu pada *node* representatif pada jalur pengelasan 1**

Dari hasil grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4-16 merupakan hasil beberapa *node* yang dapat mewakili temperatur yang terjadi pada jalur pengelasan 1 untuk pemodelan sambungan *bracket*. Semua temperatur pada tiap *node* melebihi temperatur lebur baja yakni 1500 °C dan temperatur tertinggi yang terjadi pada saat pemodelan pengelasan adalah area tikungan yaitu pada *node* 4978, 5002 dan 5011 hampir mencapai 2500 °C. Karakteristik kurva pada grafik hampir sama dengan siklus termal yang biasa terjadi pada proses pengelasan (lihat Gambar 2-6).

Berdasarkan hasil temperatur yang telah diperoleh pada masing-masing *node* untuk jalur pengelasan 1, maka pada Gambar 4-17 merupakan hasil gabungan dari jalur pengelasan 1 sampai 4 untuk skenario 1 (pengelasan sisi tengah).

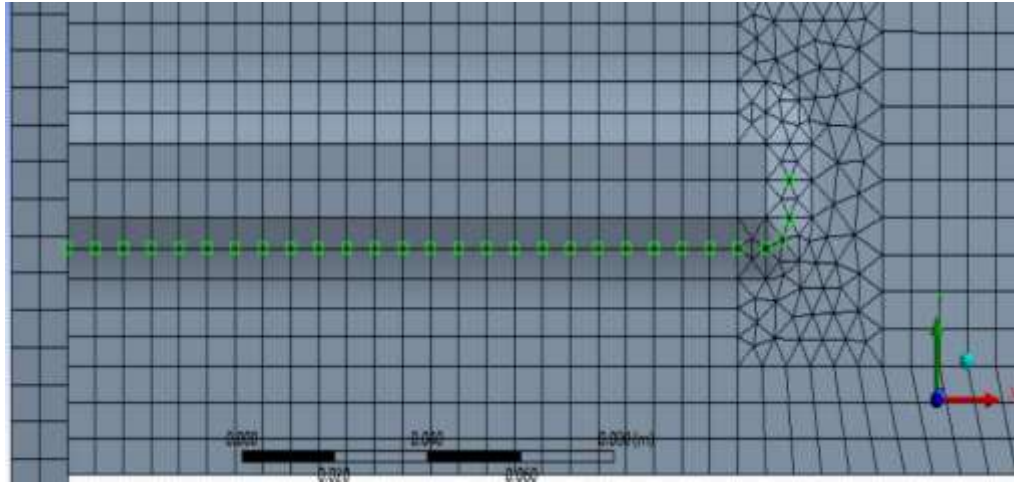


**Gambar 4-17 Perubahan Temperatur terhadap waktu pada jalur pengelasan 1 sampai 4**

Dari hasil grafik pada Gambar 4-17 diatas, dapat dilihat bahwa karakteristik grafik memiliki kesamaan antara satu dengan yang lainnya. Seperti yang terjadi pada hasil jalur pengelasan 1 dan 3. Namun hasil temperatur tertinggi dihasilkan pada *node* dengan jalur pengelasan 1. Sedangkan untuk hasil jalur pengelasan 2 dan 4 juga memiliki kesamaan yang signifikan. Terdapat perbedaan terhadap hasil yang diperoleh antara jalur pengelasan 1 dan 3 dengan jalur pengelasan 2 dan 4. Pada jalur pengelasan 2 dan 4 terdapat bagian yang kosong dan tidak ada data temperatur yang ditunjukkan pada area kuning pada Gambar 4-17. Hal ini disebabkan karena jalur pengelasan 2 dan 4 memiliki bagian yang tidak bisa dilakukan pengelasan secara langsung, sehingga proses pengelasan dilakukan secara bertahap berdasarkan waktu yang telah ditetapkan.

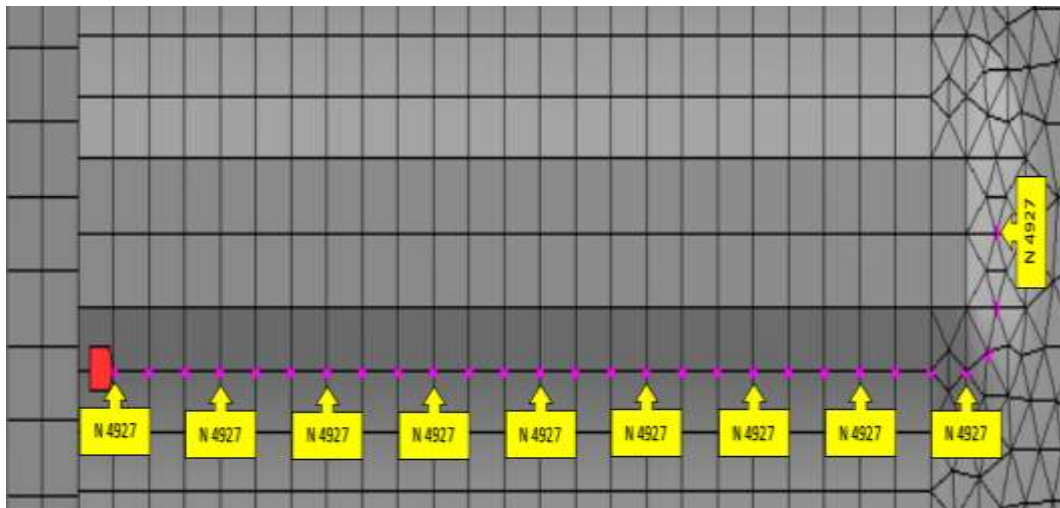
Skenario kedua pengelasan dimulai dari sisi tepi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-5. Analisa termal yang dilakukan pada skenario kedua dapat dilihat pada Gambar 4-18 dan 4-19. Pada Gambar 4-18 merupakan penampang atas pada sambungan *bracket* sedangkan titik hijau menunjukkan letak *node* yang terdapat pada jalur pengelasan 1 yang selanjutnya dilihat pengaruh termal pada tiap-tiap *node* tersebut. Pada Gambar 4-18 merupakan gambaran letak *node* yang ada pada jalur pengelasan 1 dan sebagai acuan untuk pengambilan data yang diperlihatkan pada Gambar 4-19.





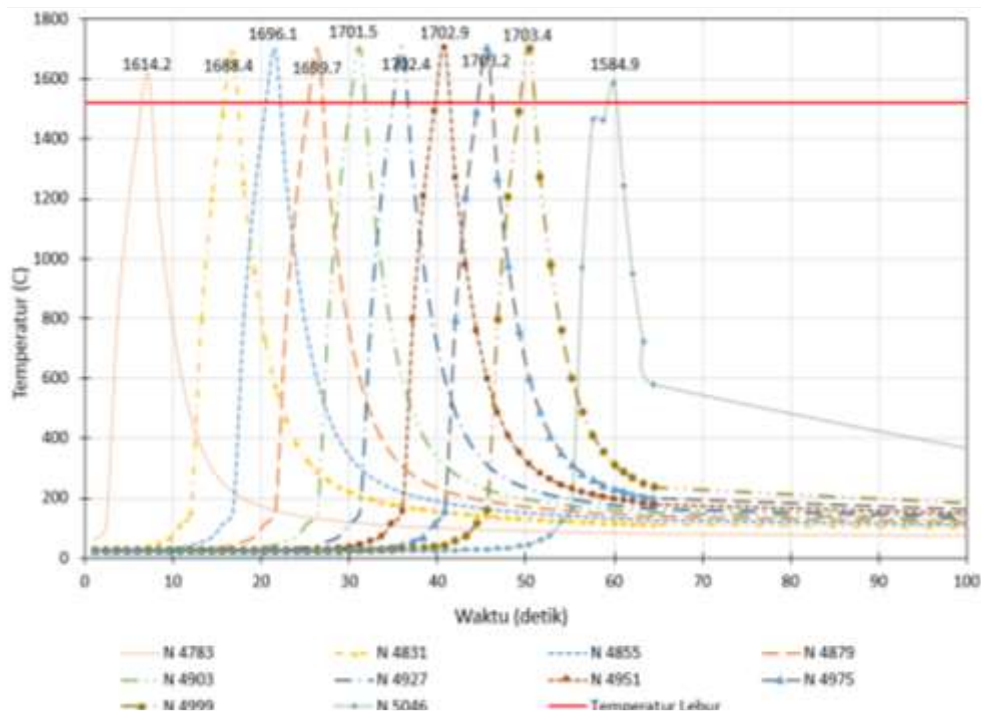
**Gambar 4-18 Penampang *node* pada jalur pengelasan 1**

Pada Gambar 4-19 menunjukkan pengambilan tiap *node* pada jalur pengelasan 1. Dari *node* yang ditinjau diperoleh nilai termal akibat proses pengelasan. *Node* yang tertera pada Gambar 4-19 merupakan hasil real yang diperoleh pada saat pemodelan. Pengambilan data dilakukan berdasarkan jumlah *node* yang telah ditentukan pada Gambar 4-19.



**Gambar 4-19 Pengambilan nilai termal pada tiap *node***

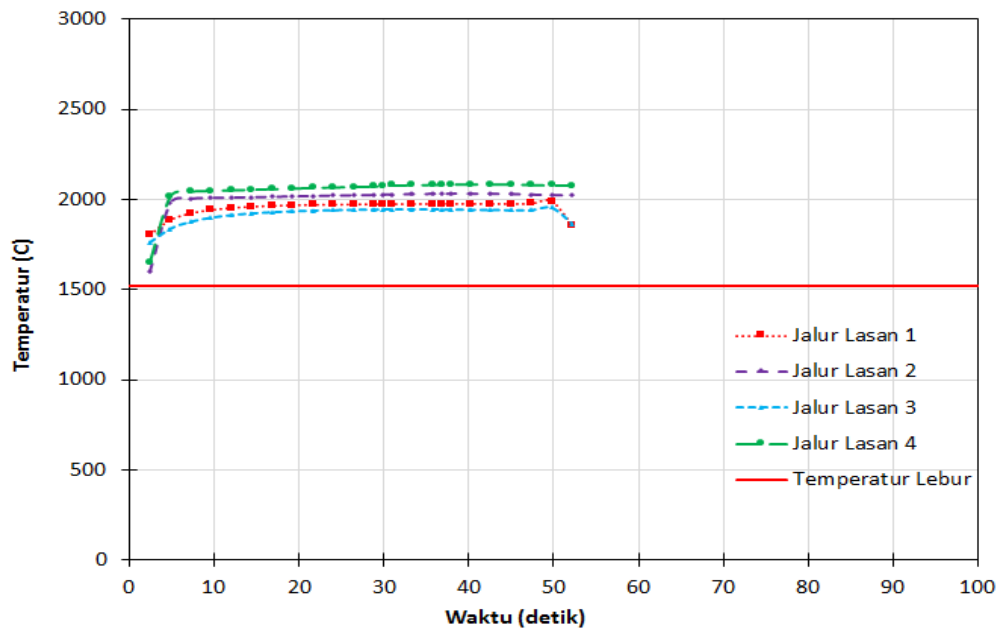
Dari hasil pengamatan yang dilakukan pada Gambar 4-19 maka tahap selanjutnya adalah mengambil data termal yang terdapat pada masing-masing *node* yang telah ditentukan. Pada Gambar 4-20 merupakan hasil data termal pada jalur pengelasan 1 berdasarkan jumlah *node* yang telah ditentukan pada Gambar 4-19.



**Gambar 4-20 Perubahan Temperatur terhadap waktu pada *node* representatif jalur pengelasan 1 pada skenario 2**

Dari Gambar 4-20 dapat dilihat bahwa grafik hasil termal pada tiap *node* memiliki karakteristik yang seragam dan semuanya melebihi temperatur lebur baja. Secara keseluruhan siklus temperatur yang terjadi pada jalur pengelasan 1 dapat disimpulkan konstan. Hal ini dapat dilihat dari karakteristik grafik pada Gambar 4-20. Temperatur yang paling tinggi pada jalur pengelasan 1 yakni pada N 4999 yaitu sebesar 1703,4 °C dan temperatur yang paling rendah adalah pada N 5046 yaitu 1584,9 °C.

Hasil skenario kedua memiliki temperatur yang terjadi pada jalur pengelasan 1 (lihat Gambar 4-20) memiliki besaran yang hampir sama antar *node*. Hal ini disebabkan oleh distribusi panas yang terjadi pada pengelasan berpindah dengan baik dan merata, sehingga area pengelasan mendapatkan beban panas yang sama. Gambaran hasil yang ditunjukkan pada Gambar 4-20 bertujuan untuk mengetahui panas yang terjadi pada tiap *node*.



**Gambar 4-21 Perubahan Temperatur terhadap waktu pada jalur pengelasan 1 sampai 4**

Pada Gambar 4-21 merupakan hasil dari jalur pengelasan 1 sampai dengan 4. Karakteristik hasil grafik secara keseluruhan pada Gambar 4-21 terbagi dalam dua kelompok yang memiliki kesamaan yang cukup signifikan. Kelompok pertama, hasil jalur pengelasan 1 hampir sama dengan hasil jalur pengelasan 3 dan sedikit lebih besar hasil jalur pengelasan 1. Sedangkan kelompok kedua, hasil jalur pengelasan 2 hampir sama dengan hasil jalur pengelasan 4 dan jalur jalur pengelasan. 2 sedikit lebih besar daripada jalur pengelasan 4. Hal ini disebabkan karena jalur pengelasan 1 dan 3 pada posisi kiri dan jalur pengelasan 2 dan 4 pada posisi kanan.

Dengan demikian hasil dari masing-masing skenario telah diperoleh pada pemodelan sambungan *bracket*, maka dapat disimpulkan bahwa hasil skenario 1 (pengelasan dari sisi tengah) memiliki hasil temperatur lebih tinggi dan fluktuatif dibandingkan dengan hasil skenario 2 (pengelasan dari sisi tepi) yang memiliki hasil cenderung lebih rendah dan konstan. Dari hasil pemodelan termal pada sambungan *bracket* ini nantinya memberikan pengaruh terhadap hasil tegangan sisa dan perilaku distorsi, sehingga dapat dilihat perbedaan dari masing-masing hasil yang telah diperoleh terhadap masing-masing skenario dengan variasi urutan jalur pengelasan.

#### **4.4.4 Pemodelan Struktural**

Pemodelan struktural merupakan tahapan pemodelan lanjutan dari pemodelan termal. Pemodelan struktural dilakukan untuk mengetahui perilaku struktur terhadap yang terjadi akibat proses pengelasan. Perilaku struktur dapat diketahui berdasarkan hasil pengamatan dan pengukuran. Pengukuran dapat dilakukan secara manual (menurut eksperimen) maupun otomatis (menurut komputasi numerik)

Pada pemodelan sambungan *bracket* dilakukan pemodelan struktural untuk mengetahui besarnya nilai tegangan sisa dan distorsi yang terjadi akibat proses pengelasan.

##### **4.4.4.1 Perubahan tipe elemen termal menjadi elemen struktural**

Pemilihan elemen pada pemodelan struktural dapat dilakukan secara langsung dengan mengubah tipe elemen dari termal ke struktural. Tipe elemen solid 70 dan solid 90 pada pemodelan termal berubah menjadi solid 185 dan solid 186 pada pemodelan struktural. Tipe elemen *solid* 185 dan *solid* 186 dapat dilihat pada Gambar 2-7. Dari perubahan tersebut secara otomatis berpengaruh terhadap pemberian pembebanan yang dilakukan pada saat pemodelan. Tipe elemen yang digunakan dalam pemodelan juga menyesuaikan dengan jenis pembebanan yang diberikan. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan hasil pemodelan sehingga dapat mendekati kondisi yang sebenarnya.

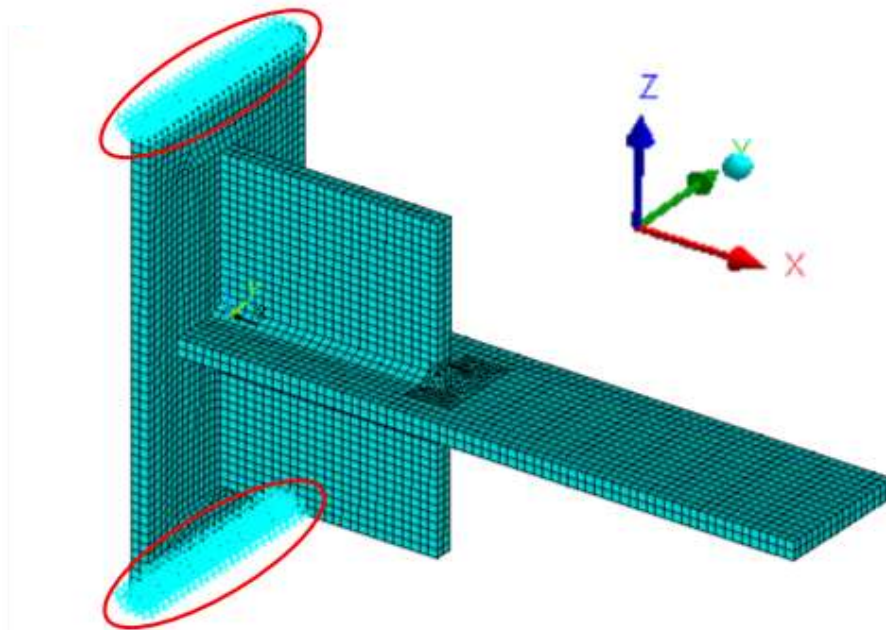
Beban yang diberikan pada pemodelan struktural berupa gaya, momen, tekanan dan menentukan kondisi batas pemodelan. Beberapa beban tersebut digunakan dalam pemodelan struktural tergantung pada kasus yang ingin ditinjau.

##### **4.4.4.2 Kondisi Batas Pemodelan Struktural**

Pemberian kondisi batas pada pemodelan struktural merupakan sesuatu hal yang sangat penting untuk dilakukan. Pemberian kondisi batas dilakukan untuk mendefinisikan kondisi yang terjadi pada kasus sebenarnya dengan cara membatasi pergerakan dari salah satu atau semua arah sumbu sehingga dapat dengan mudah mendefinisikan syarat batas dalam pemodelan.

Hubungan kondisi batas dengan derajat kebebasan (*degree of freedom*) pada pemodelan struktural merupakan bagian yang tidak dapat dipisahkan. Hal ini disebabkan karena kondisi batas yang diberikan pada pemodelan dapat mengetahui gerakan pada sumbu translasi maupun rotasi.

Pemodelan struktural pada sambungan *bracket* diberikan kondisi batas pada bagian atas dan bawah di area *main frame*. Pada Gambar 4-22 menunjukkan pemberian kondisi batas pada sambungan *bracket*. Dalam hal ini pemberian kondisi batas mengacu pada penelitian eksperimen pelat berpenegar memanjang yang telah dilakukan oleh Syahroni (2014).



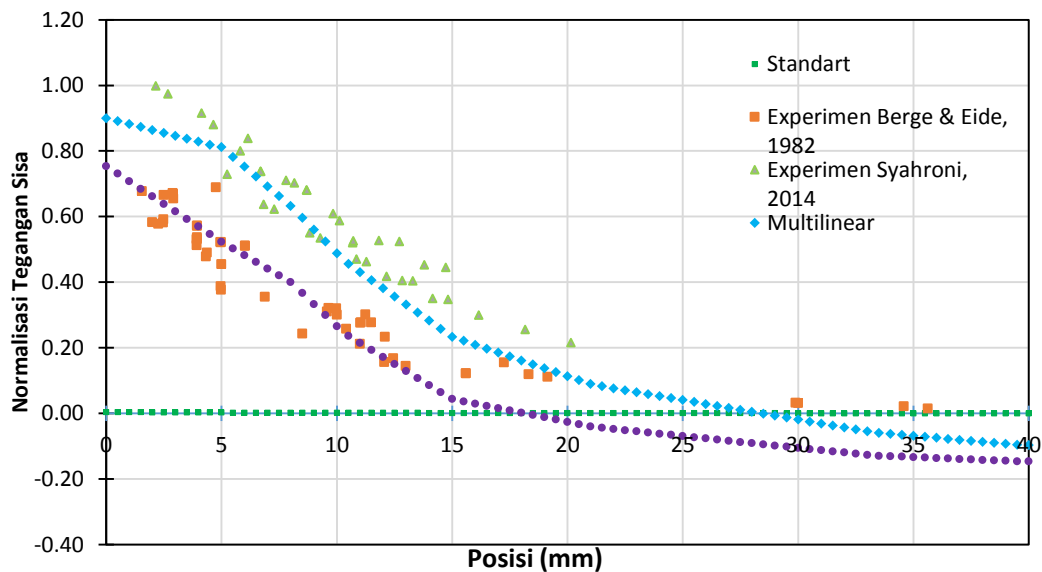
**Gambar 4-22 Kondisi batas untuk pemodelan sambungan *bracket***

Pada Gambar 4-22 dapat dilihat bahwa ada dua kondisi batas yang diberikan pada bagian atas dan bawah di area *main frame* dimana pada masing-masing area semua gerakan ke arah sumbu X, Y, dan Z = 0. Dengan demikian pada area tersebut kondisinya tetap dan tidak dapat bergerak ke arah sumbu X, Y, dan Z. Sedangkan untuk area lainnya dianggap bebas.

Dari hasil pemodelan pada sambungan *bracket* yang telah diberikan kondisi batas diharapkan dapat mengetahui perilaku yang terjadi pada struktur tersebut, sehingga diperoleh nilai tegangan sisa dan perilaku distorsi. Dengan demikian dapat dilanjutkan dengan menganalisa hasil tegangan sisa yang telah diperoleh dengan beberapa parameter lainnya, sehingga pemodelan yang dilakukan pada sambungan *bracket* dapat tervalidasi dengan baik dan dapat dipertanggungjawabkan.

#### 4.4.4.3 Analisa hasil tegangan sisa akibat parameter *isotropic hardening*

Parameter *isotropic hardening* merupakan parameter yang penting untuk mendefinisikan linearitas pada material properties. *Isotropic hardening* memiliki beberapa cakupan yang berkaitan dengan *bilinear* dan *multilinear*. *Bilinear* merupakan bentuk karakteristik dua buah garis yang berisi data atau variabel dalam pemodelan. Sedangkan *multilinear* memiliki lebih dari dua variabel.



**Gambar 4-23** Parameter *isotropic hardening*

Dari grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4-23 dapat dilihat bahwa pengaruh *isotropic hardening* sangat berpengaruh terhadap hasil tegangan sisa. Pada Gambar 4-23 juga menunjukkan perbandingan antara *bilinear isotropic*, *multilinear isotropic* dan tanpa nilai *isotropic hardening*. Dari ketiga karakteristik grafik diatas maka parameter *multilinear isotropic* dapat menghasilkan nilai tegangan sisa yang baik dibandingkan dengan hasil *bilinear* maupun tanpa *isotropic hardening*. Sedangkan untuk parameter *bilinear isotropic* cenderung masuk dalam hasil eksperimen yang telah dilakukan oleh Berge & Eide (1982). Dan untuk parameter tanpa *isotropic hardening* tidak memberikan efek nilai tegangan sisa. Berdasarkan fenomena ini dapat disimpulkan bahwa parameter yang paling berpengaruh terhadap nilai tegangan sisa adalah *multilinear isotropic*. Hasil grafik pada Gambar 4-23 merupakan hasil tegangan sisa arah longitudinal yang divalidasi berdasarkan hasil eksperimen Syahroni (2014) dan hasil eksperimen Berge & Eide (1982)

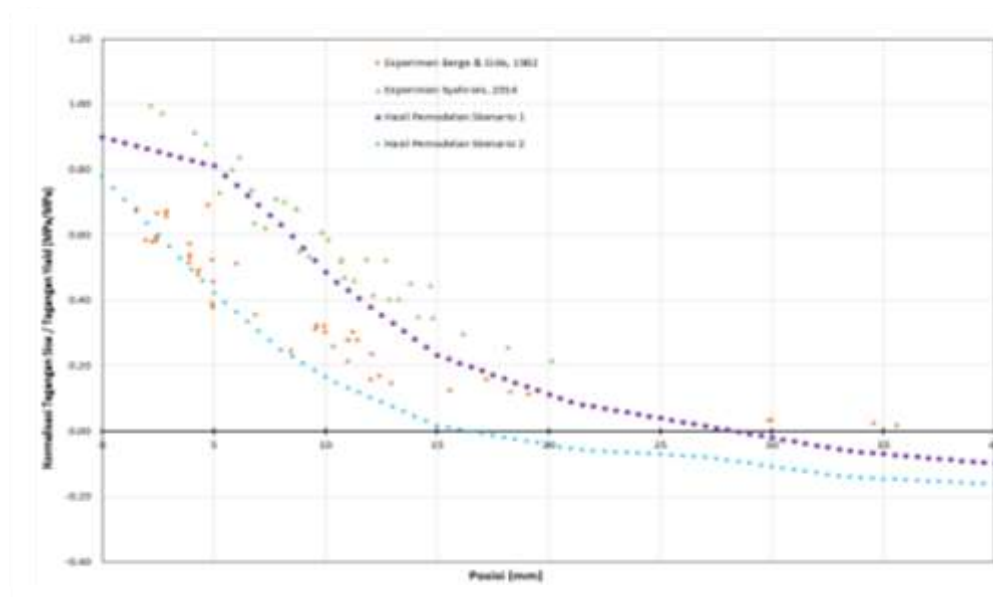
#### 4.4.5 Analisa Hasil Pemodelan Numerik pada Sambungan *Bracket*

Hasil optimal yang diperoleh pada masing-masing skenario merupakan hasil pemodelan yang telah dilakukan pada sambungan *bracket* dengan ukuran *meshing* 6 mm dan nilai efisiensi 70 % sehingga *heat flux* yang diberikan sebesar 138.242.667 watt / m<sup>2</sup>.

Berdasarkan hasil yang telah diperoleh pada penelitian eksperimen yang telah dilakukan oleh Syahroni (2014) pada sambungan pelat berpenegar memanjang dan juga sebagai validasi untuk pemodelan sambungan *bracket*. Sehingga dapat menjadi perbandingan antara hasil eksperimen dan hasil pemodelan numerik. Menurut hasil eksperimen yang telah dilakukan ada beberapa hasil yang dapat dijadikan perbandingan dengan hasil pemodelan numerik, diantaranya adalah hasil tegangan sisa arah longitudinal dan tegangan sisa arah transversal dengan variasi jarak 2 mm, 2.5 mm, dan 6 mm dari kaki lasan (*weld toe*).

##### 4.4.5.1 Hasil Tegangan sisa arah Longitudinal

Dari hasil yang ditunjukkan pada Gambar 4-24 dapat dilihat bahwa hasil tegangan sisa pada pemodelan skenario 1 (jalur pengelasan sisi tengah) mendekati dengan hasil eksperimen yang telah dilakukan oleh Syahroni (2014). Sedangkan hasil tegangan sisa pada pemodelan skenario 2 (jalur pengelasan sisi tepi) lebih mendekati hasil eksperimen yang dilakukan oleh Berge & Eide (1982).



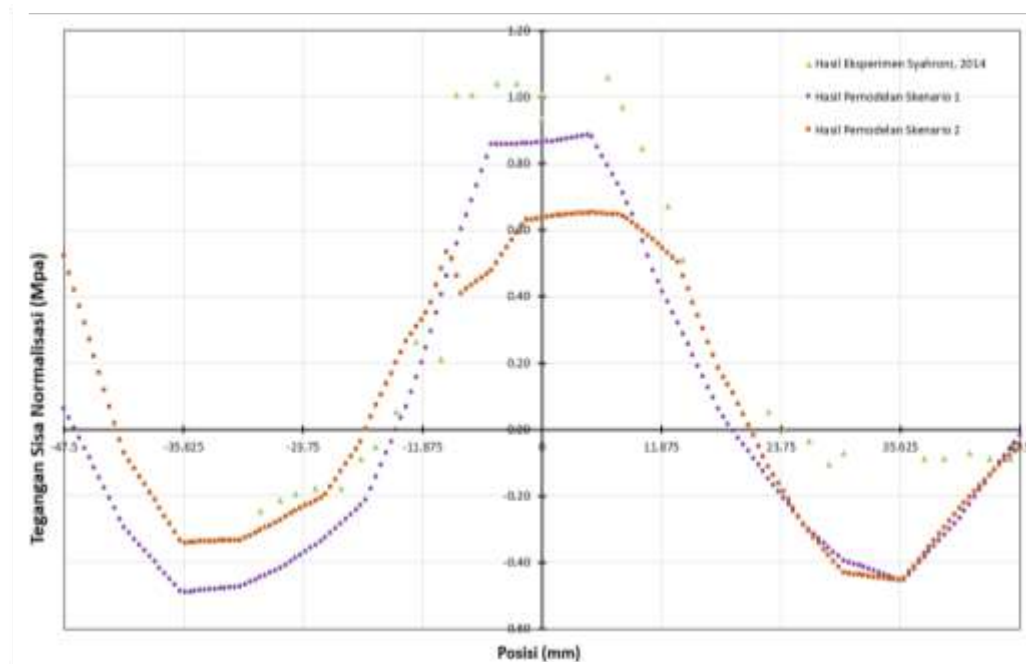
**Gambar 4-24 Perbandingan hasil tegangan sisa arah longitudinal eksperimen dan pemodelan numerik**



#### 4.4.5.2 Hasil Tegangan sisa arah Transversal

Hasil tegangan sisa arah transversal pada pemodelan sambungan *bracket* untuk hasil pemodelan skenario 1 (jalur pengelasan sisi tengah) dan hasil skenario 2 (jalur pengelasan sisi tepi) dibedakan berdasarkan jarak pengamatan yang ditinjau. Dalam hal ini ada beberapa jarak pengamatan untuk data tegangan sisa arah transversal yang sesuai dengan penelitian eksperimen Syahrani (2014). Jarak pengamatan tersebut adalah 2 mm, 2.5 mm dan 6 mm dari kaki lasan (*weld toe*). Dengan demikian jarak pengamatan tersebut dapat digunakan untuk pengambilan data tegangan sisa pada pemodelan sambungan *bracket*. Sehingga hasil pemodelan dapat divalidasi berdasarkan hasil penelitian eksperimen.

##### a. Hasil tegangan sisa arah transversal 2 mm dari *weld toe*

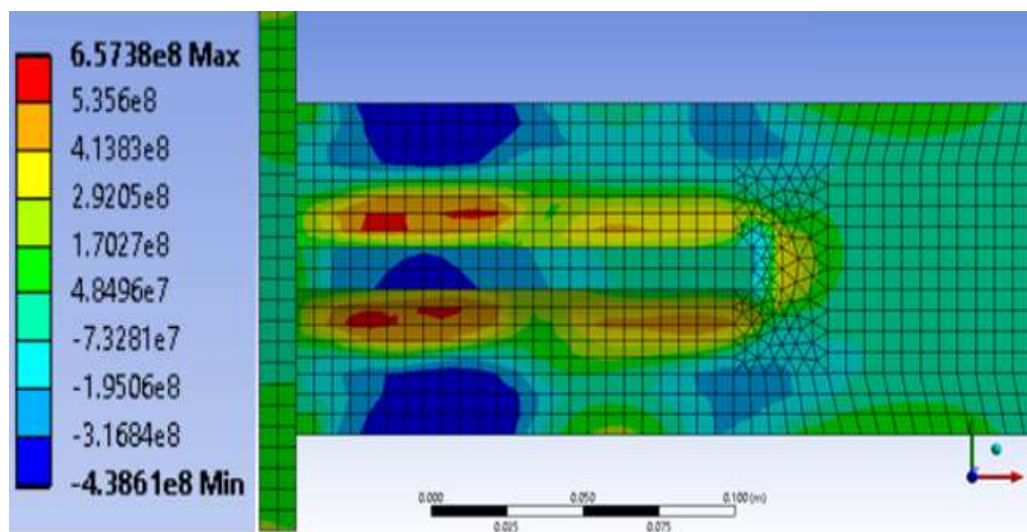


**Gambar 4-25 Perbandingan hasil tegangan sisa arah transversal antara penelitian eksperimen dan pemodelan numerik**

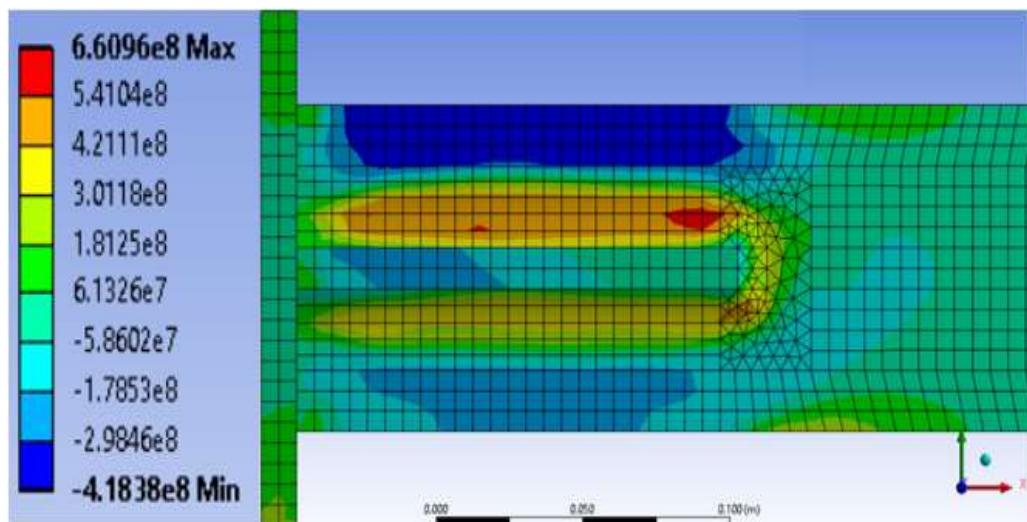
Dari Gambar 4-25 diketahui hasil pemodelan skenario 1 lebih mendekati dengan hasil eksperimen, hal ini juga dapat dilihat dari karakteristik kurva yang dapat dipertanggungjawabkan. Sedangkan hasil pemodelan skenario 2 hasilnya jauh dari hasil eksperimen dan lebih rendah dari hasil pemodelan skenario 1. Dalam hal menjadi perbandingan dalam menentukan hasil pemodelan yang tepat dan sesuai atau mendekati dengan hasil eksperimen, hasil pemodelan skenario 1 lebih



baik dari pemodelan skenario 2. Hal ini ditambah dengan karakteristik kurva yang dihasilkan pada pemodelan skenario 2 tidak sesuai dengan hasil eksperimen. Adanya peningkatan hasil tegangan sisa pada sisi tepi dari masing masing pemodelan, baik pemodelan skenario 1 dan pemodelan skenario 2. Untuk membuktikan hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4-26 dan 4-27 yang merupakan penampang hasil tegangan sisa untuk pemodelan skenario 1 dan pemodelan skenario 2.

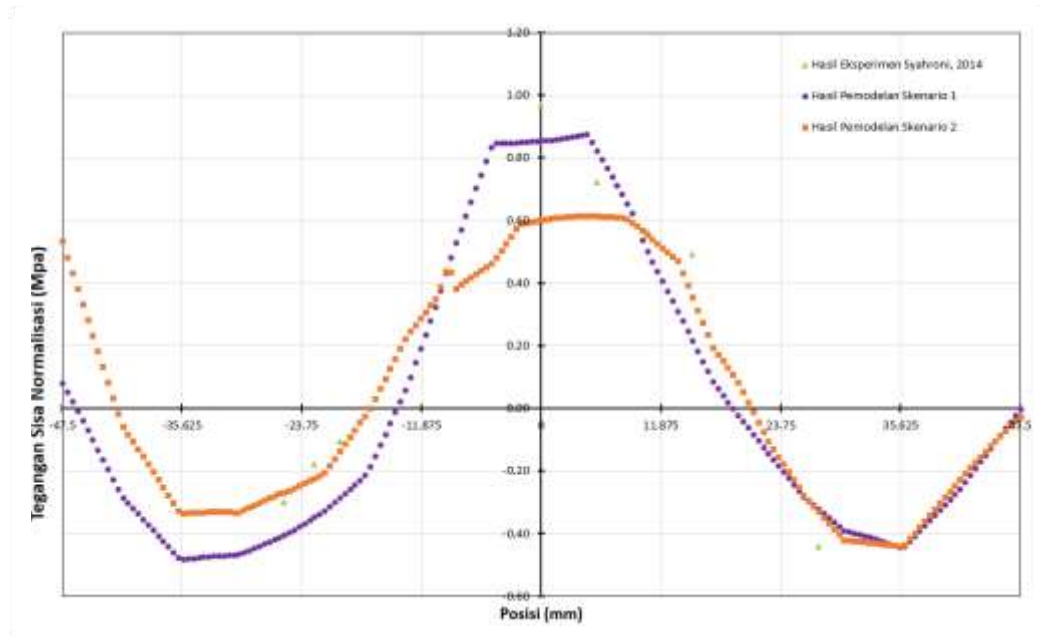


**Gambar 4-26** Penampang hasil sebaran warna pada pemodelan skenario 1 (jalur pengelasan sisi tengah) berdasarkan nilai tegangan



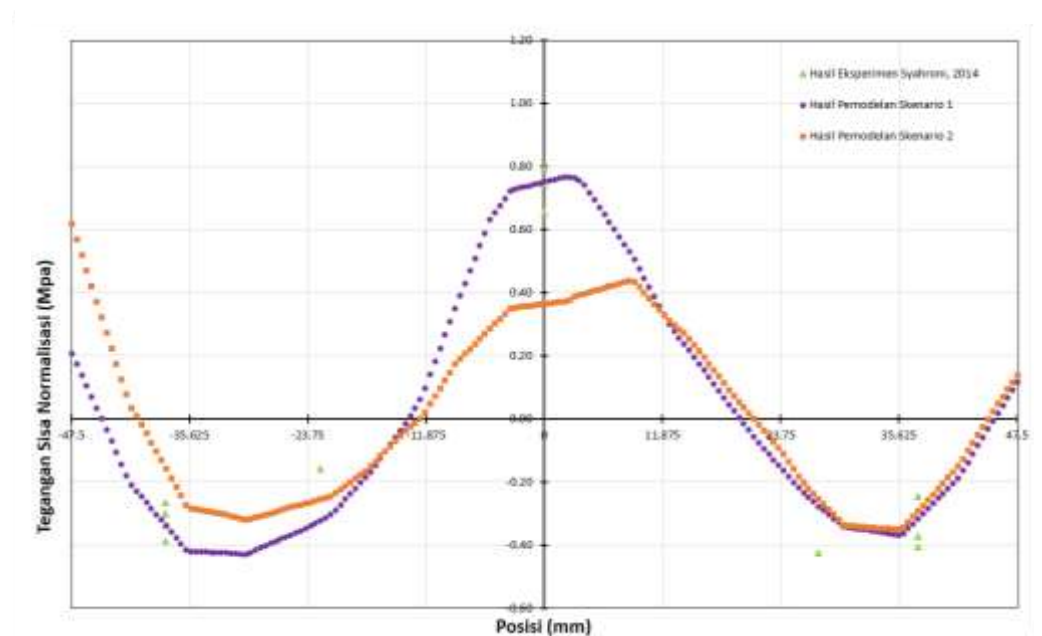
**Gambar 4-27** Penampang hasil sebaran warna pada pemodelan skenario 2 (jalur pengelasan sisi tepi) berdasarkan nilai tegangan

**b. Hasil tegangan sisa arah Transversal 2,5 mm dari *weld toe***



**Gambar 4-28 Perbandingan hasil tegangan sisa arah transversal antara penelitian eksperimen dan pemodelan numerik**

**c. Hasil tegangan sisa arah transversal 6 mm dari *weld toe***

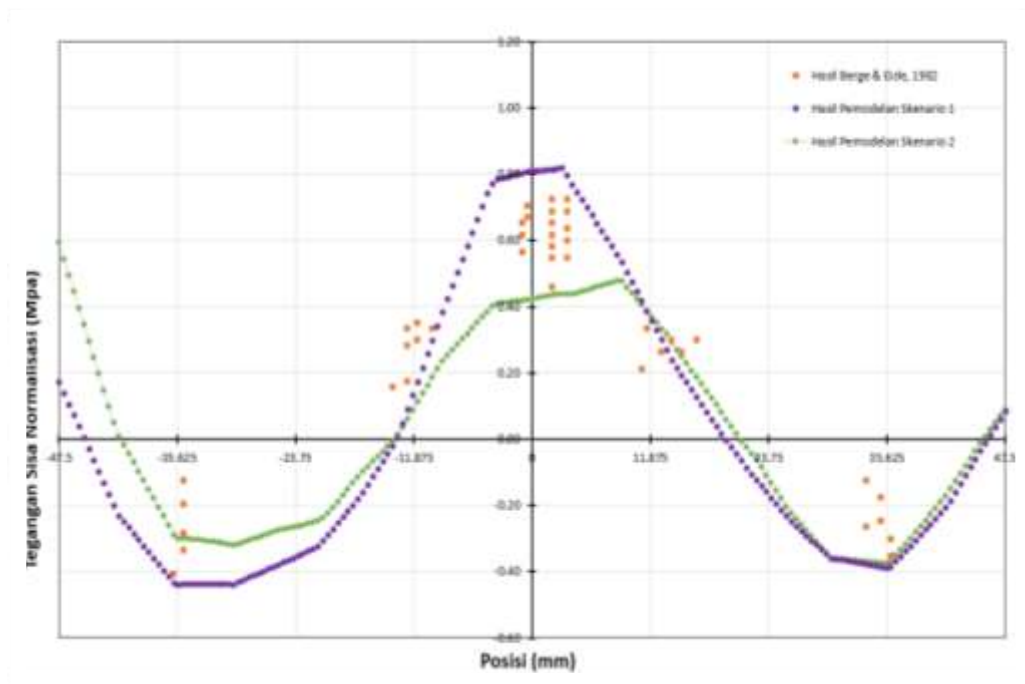


**Gambar 4-29 Perbandingan hasil tegangan sisa arah transversal antara penelitian eksperimen dan pemodelan numerik**

Dari hasil yang ditunjukkan pada Gambar 4-28 dapat diketahui nilai tegangan sisa arah transversal dengan jarak pengamatan 2,5 mm hampir sama dengan hasil tegangan sisa arah transversal yakni pada Gambar 4-25 dengan jarak pengamatan 2 mm. Dimana hasil pemodelan skenario 1 lebih mendekati dengan hasil eksperimen, sedangkan hasil pemodelan skenario 2 masih jauh dibawah hasil penelitian eksperimen dan hasil pemodelan skenario 1.

Pada Gambar 4-29 merupakan hasil tegangan sisa arah transversal dengan jarak pengamatan 6 mm dari *weld toe*. Nilai tegangan sisa yang diperoleh dari pemodelan skenario 1 sangat mendekati dengan hasil penelitian eksperimen. Sedangkan hasil pemodelan skenario 2 masih jauh dari hasil penelitian eksperimen dan pemodelan skenario 1.

**d. Hasil tegangan sisa arah transversal 5 mm dari *weld toe***



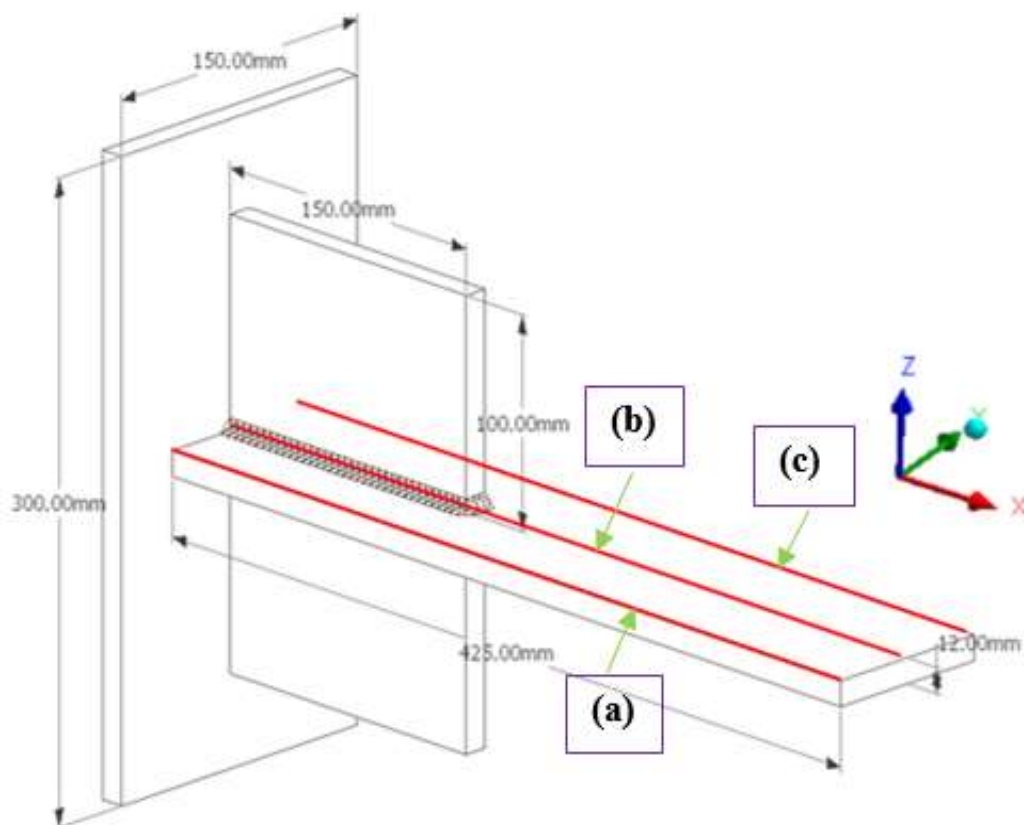
**Gambar 4-30 Perbandingan hasil tegangan sisa arah transversal antara penelitian eksperimen yang dilakukan oleh Berge & Eide (1982) dan pemodelan numerik**

Dari hasil yang ditunjukkan pada Gambar 4-30 dapat diketahui hasil tegangan sisa arah transversal dengan jarak pengamatan 5 mm dari *weld toe* hasil yang diperoleh pada pemodelan skenario 1 lebih tinggi daripada hasil penelitian eksperimen. Sedangkan hasil pemodelan skenario 2 lebih rendah dibandingkan dengan hasil penelitian eksperimen.

#### 4.4.5.3 Hasil Distorsi Sambungan *Bracket*

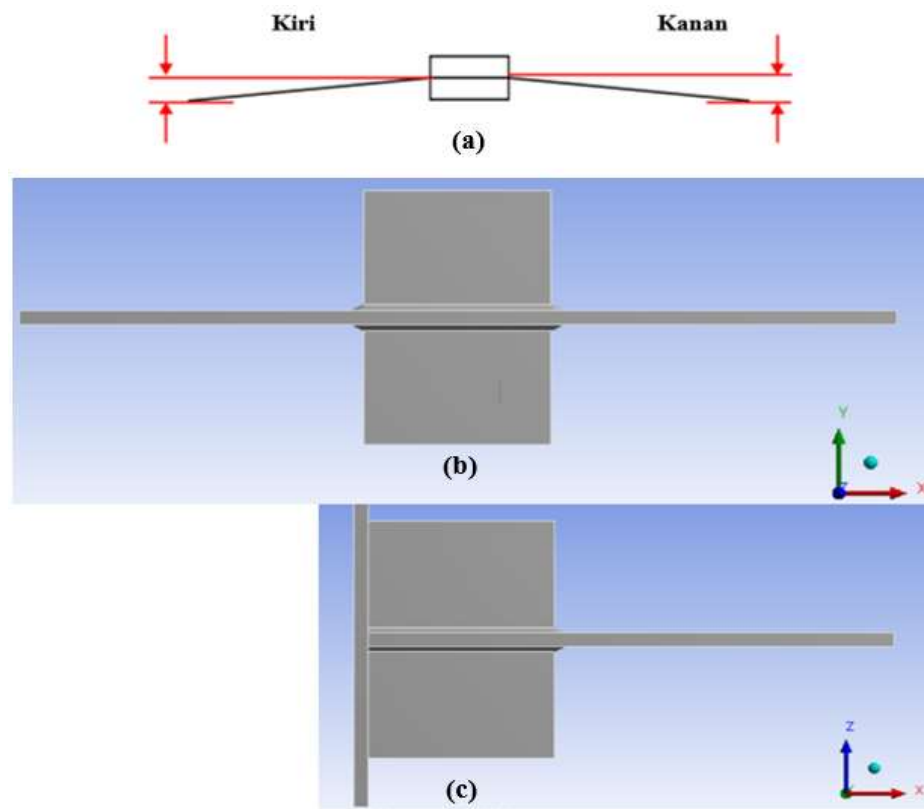
Pengaruh distribusi panas yang tidak merata pada saat proses pengelasan menyebabkan distorsi pada bentuk spesimen lasan. Pemodelan pengelasan yang telah dilakukan pada sambungan *bracket* juga mengalami distorsi. Pengukuran besarnya distorsi pada pemodelan sambungan *bracket* dilakukan dengan membagi tiga bagian pengamatan berupa garis searah sumbu X. Pada Gambar 4-31 menunjukkan letak pengambilan hasil data distorsi pada pemodelan sambungan *bracket*. Pengukuran hasil distorsi dilakukan berdasarkan skenario yang telah dilakukan pada pemodelan sambungan *bracket*. Sehingga diperoleh perbedaan hasil distorsi yang terjadi pada pemodelan sambungan *bracket*.

Pada Gambar 4-31 terdapat 3 (tiga) garis untuk melakukan pengamatan hasil distorsi. Garis (a) terletak pada sumbu X dan Y (-) dan garis (b) terletak pada sumbu X dan Y (tengah) sedangkan garis (c) terletak pada sumbu X dan Y (+).



Gambar 4-31 Pengamatan pengambilan data distorsi pada sambungan *bracket*

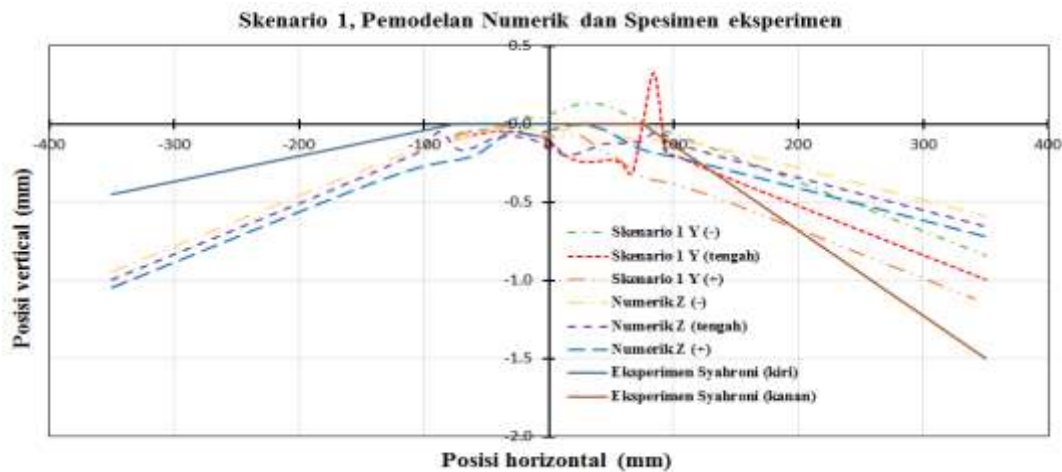
Hasil pengamatan yang telah diperoleh dimasukkan dalam grafik untuk dianalisa berdasarkan masing-masing skenario dan selanjutnya divalidasi dengan hasil penelitian eksperimen oleh Syahroni (2014). Validasi dilakukan hanya pada hasil distorsi skenario 1 (jalur pengelasan dari sisi tengah).



**Gambar 4-32 Proses pengambilan data distorsi pada sambungan *bracket*.**

Pada Gambar 4-32 merupakan gambaran mengenai proses pengambilan data distorsi pada sambungan *bracket* berdasarkan penelitian eksperimen yang dilakukan oleh Syahroni (2014). Gambar 4-32 (a) merupakan posisi arah distorsi dan Gambar 4-32 (b) adalah spesimen penelitian eksperimen pada pelat berpenegar memanjang Syahroni (2014). Sedangkan Gambar 4-32 (c) merupakan spesimen pemodelan pada sambungan *bracket*.

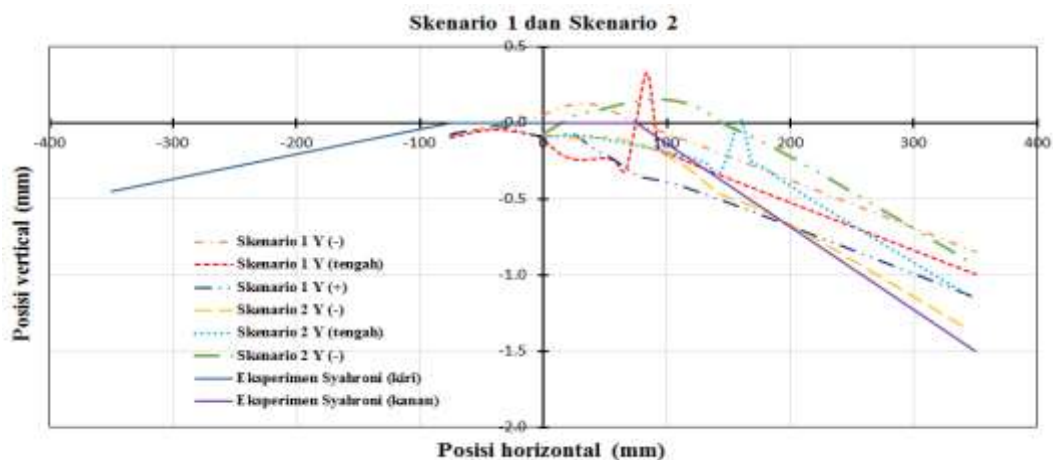
Hasil pengukuran diplot kedalam grafik yang telah disajikan pada Gambar 4-33 untuk hasil distorsi skenario 1 dan hasil numerik dan penelitian eksperimen Syahroni (2014). Hasil grafik yang ditampilkan pada Gambar 4-33 mengacu pada Gambar 4-32 (a) dan (b) yang diperoleh pada masing-masing posisi.



**Gambar 4-33 Grafik hasil distorsi Skenario 1, hasil Numerik dan hasil Spesimen Eksperimen**

Hasil pemodelan numerik yang diperoleh pada grafik di Gambar 4-33 merupakan spesimen eksperimen yang telah dilakukan pemodelan dan selanjutnya dilakukan pemodelan secara numerik untuk mengetahui besarnya distorsi yang terjadi pada spesimen pelat berpenegar memanjang (lihat Gambar 4-32 (b)). Sedangkan hasil skenario 1 yang ditampilkan pada Gambar 4-33 merupakan hasil distorsi untuk pemodelan numerik pada sambungan *bracket*.

Pada Gambar 4-34 ditunjukkan hasil distorsi yang terjadi pada pemodelan sambungan *bracket* untuk skenario 1 dan skenario 2. Dari karakteristik grafik pada Gambar 4-34 diketahui bahwa nilai distorsi yang diperoleh pada skenario 2 lebih besar daripada skenario 1. Hal ini berkaitan dengan urutan jalur pengelasan yang digunakan pada pemodelan sambungan *bracket*.



**Gambar 4-34 Grafik hasil distorsi Skenario 1 dan Skenario 2**

## LAMPIRAN

```
! ANSYS RELEASE Release 17.0    BUILD 17.0    UP20151214    22:31:19
/input,menust,tmp,"
! /GRA,POWER
! /GST,ON
! /PLO,INFO,3
! /GRO,CURL,ON
! /CPLANE,1
! /REPLOT,RESIZE
WPSTYLE,,,,,,,,0
! /REPLOT,RESIZE
/CWD,'E:\Final-heri\Seq-Tengah-Glue\Mesh 6mm-Glue'
/FILNAME,Seq-Tengah-Glue,0
/AUX15
!*
```

```
! ***** INPUT GEOMETRI MODEL
*****
```

```
IOPTN,IGES,SMOOTH
IOPTN,MERGE,YES
IOPTN,SOLID,YES
IOPTN,SMALL,YES
IOPTN,GTOLER, DEFA
IGESIN,'01 Bead Tengah-Kecil','IGS',' '
! VPLOT
!*
!*
IOPTN,IGES,SMOOTH
IOPTN,MERGE,YES
IOPTN,SOLID,YES
IOPTN,SMALL,YES
IOPTN,GTOLER, DEFA
IGESIN,'02 Main Kanan','IGS',' '
! VPLOT
!*
!*
IOPTN,IGES,SMOOTH
IOPTN,MERGE,YES
IOPTN,SOLID,YES
IOPTN,SMALL,YES
IOPTN,GTOLER, DEFA
IGESIN,'02-1 Main-Tengah 1','IGS',' '
! VPLOT
!*
```

```

IOPTN,IGES,SMOOTH
IOPTN,MERGE,YES
IOPTN,SOLID,YES
IOPTN,SMALL,YES
IOPTN,GTOLER,DEFA
IGESIN,'02-2 Main-Tengah 2','IGS',' '
! VPLOT
!*
!*
IOPTN,IGES,SMOOTH
IOPTN,MERGE,YES
IOPTN,SOLID,YES
IOPTN,SMALL,YES
IOPTN,GTOLER,DEFA
IGESIN,'03 Stiff kecil atas','IGS',' '
! VPLOT
!*
!*
IOPTN,IGES,SMOOTH
IOPTN,MERGE,YES
IOPTN,SOLID,YES
IOPTN,SMALL,YES
IOPTN,GTOLER,DEFA
IGESIN,'03-1 Stiff-Besar-Atas','IGS',' '
! VPLOT
!*
!*
IOPTN,IGES,SMOOTH
IOPTN,MERGE,YES
IOPTN,SOLID,YES
IOPTN,SMALL,YES
IOPTN,GTOLER,DEFA
IGESIN,'04 Stiff Kecil Bawah','IGS',' '
! VPLOT
!*
!*

```

```

IOPTN,IGES,SMOOTH
IOPTN,MERGE,YES
IOPTN,SOLID,YES
IOPTN,SMALL,YES
IOPTN,GTOLER,DEFA
IGESIN,'04-1 Stiff-Besar-
Bawah','IGS',' '
! VPLOT
!*
!*
IOPTN,IGES,SMOOTH
IOPTN,MERGE,YES
IOPTN,SOLID,YES
IOPTN,SMALL,YES
IOPTN,GTOLER,DEFA
IGESIN,'05 Bead Kanan','IGS',' '
! VPLOT
!*
!*
IOPTN,IGES,SMOOTH
IOPTN,MERGE,YES
IOPTN,SOLID,YES
IOPTN,SMALL,YES
IOPTN,GTOLER,DEFA
IGESIN,'06 wall tengah','IGS',' '
! VPLOT
!*
!*
IOPTN,IGES,SMOOTH
IOPTN,MERGE,YES
IOPTN,SOLID,YES
IOPTN,SMALL,YES
IOPTN,GTOLER,DEFA
IGESIN,'07 wall frame','IGS',' '
! VPLOT
!*

```

! \*\*\*\*\* **TIPE ELEMEN** \*\*\*\*\*

```

/PREP7
!*
ET,1,SOLID90
!*
ET,2,SOLID70

```



! \*\*\*\*\* DATA MATERIAL \*\*\*\*\*

!!!!!! MAT-PILIPENKO

```
/COM,ANSYS RELEASE Release 17.0   BUILD 17.0   UP20151214   20:05:03
MPTEMP
MPTEMP, 1, 0.2731500E+03, 0.6731500E+03, 0.8731500E+03, 0.1273200E+04,
0.1673200E+04
MPTEMP, 6, 0.3273200E+04,
MPDATA,EX , 1, 1, 0.2060000E+12, 0.1640000E+12, 0.5990000E+11,
0.1010000E+11, 0.1010000E+11
MPDATA,EX , 1, 6, 0.1010000E+11,
MPTEMP
MPTEMP, 1, 0.2731500E+03, 0.6731500E+03, 0.8731500E+03, 0.1273200E+04,
0.1673200E+04
MPTEMP, 6, 0.3273200E+04,
MPDATA,ALPX, 1, 1, 0.1200000E-04, 0.1260000E-04, 0.1290000E-04,
0.1340000E-04, 0.1390000E-04
MPDATA,ALPX, 1, 6, 0.1390000E-04,
MPTEMP
MPTEMP, 1, 0.0000000E+00,
MPDATA,DENS, 1, 1, 0.7850000E+04,
MPTEMP
MPTEMP, 1, 0.2731500E+03, 0.4731500E+03, 0.6731500E+03, 0.8731500E+03,
0.1273150E+04
MPTEMP, 6, 0.1673150E+04, 0.3273200E+04,
MPDATA,KXX , 1, 1, 0.5930000E+02, 0.5140000E+02, 0.4320000E+02,
0.3890000E+02, 0.3510000E+02
MPDATA,KXX , 1, 6, 0.3070000E+02, 0.3070000E+02,
MPTEMP
MPTEMP, 1, 0.2731500E+03, 0.6731500E+03, 0.8731500E+03, 0.1273150E+04,
0.1673150E+04
MPTEMP, 6, 0.3273150E+04,
MPDATA,C , 1, 1, 0.3900000E+03, 0.6767000E+03, 0.8213000E+03,
0.6555000E+03, 0.7951000E+03
MPDATA,C , 1, 6, 0.7951000E+03,
MPTEMP
MPTEMP, 1, 0.2731500E+03, 0.6731500E+03, 0.8731500E+03, 0.1273200E+04,
0.1673200E+04
MPTEMP, 6, 0.3273200E+04,
MPDATA,PRXY, 1, 1, 0.2963000E+00, 0.3673000E+00, 0.4057000E+00,
0.4800000E+00, 0.4800000E+00
MPDATA,PRXY, 1, 6, 0.4800000E+00,
MPTEMP
MPTEMP, 1, 0.0000000E+00,
MPDATA,REFT, 1, 1, 0.2731500E+03,
```

!!!!!! MISOPLASTICSTRAIN-PILIPENKO

TB,PLAS,1,6,5,MISO  
TBTEMP,298  
TBPT,,0,4.1163E+008  
TBPT,,0.018,4.13E+008  
TBPT,,0.05,5E+008  
TBPT,,0.1,5.5E+008  
TBPT,,0.2,5.6E+008  
TBTEMP,673.15  
TBPT,,0,2.8183E+008  
TBPT,,0.018,2.8277E+008  
TBPT,,0.05,3.4233E+008  
TBPT,,0.1,3.7657E+008  
TBPT,,0.2,3.8342E+008  
TBTEMP,873.15  
TBPT,,0,1.5776E+008  
TBPT,,0.018,1.5828E+008  
TBPT,,0.05,1.9163E+008  
TBPT,,0.1,2.1079E+008  
TBPT,,0.2,2.1462E+008  
TBTEMP,1273.2  
TBPT,,0,2.0193E+007  
TBPT,,0.018,2.026E+007  
TBPT,,0.05,2.4528E+007  
TBPT,,0.1,2.6981E+007  
TBPT,,0.2,2.7472E+007  
TBTEMP,1473.2  
TBPT,,0,2.0193E+007  
TBPT,,0.018,2.026E+007  
TBPT,,0.05,2.4528E+007  
TBPT,,0.1,2.6981E+007  
TBPT,,0.2,2.7472E+007  
TBTEMP,3273.2  
TBPT,,0,2.0193E+007  
TBPT,,0.018,2.026E+007  
TBPT,,0.05,2.4528E+007  
TBPT,,0.1,2.6981E+007  
TBPT,,0.2,2.7472E+007

! \*\*\*\*\* *MESHING VOLUME* \*\*\*\*\*

```
! APLOT
/PREP7
ESIZE,0.005,0,
FLST,5,10,6,ORDE,4
FITEM,5,1
FITEM,5,-13
CM,_Y,VOLU
VSEL,, , ,P51X
CM,_Y1,VOLU
CHKMSH,'VOLU'
CMSEL,S,_Y
VSWEEP,_Y1
!*
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
CMDELE,_Y2
!*
/UI,MESH,OFF
ESIZE,0.005,0,
CM,_Y,VOLU
VSEL,, , , 1
CM,_Y1,VOLU
CHKMSH,'VOLU'
CMSEL,S,_Y
VSWEEP,_Y1
!*
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
CMDELE,_Y2
!*
MSHAPE,1,3D
MSHKEY,0
!*
CM,_Y,VOLU
VSEL,, , , 9
CM,_Y1,VOLU
CHKMSH,'VOLU'
CMSEL,S,_Y
!*
VMESH,_Y1
!*
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
CMDELE,_Y2
```

! \*\*\*\*\* ANALISA TIPE \*\*\*\*\*

```
/SOL
!*
ANTYPE,4
!*
TRNOPT,FULL
LUMPM,0
!*
TUNIF,298,
TREF,298,
!*
! OUTPR,ALL,ALL,
! /GST,1
!*
OUTRES,ALL,ALL,
```

! \*\*\*\*\* ANALISA TERMAL \*\*\*\*\*

```
/SOL
!!!! Apply Convection
FLST,2,187,5,ORDE,12
FITEM,2,1
FITEM,2,-49
FITEM,2,55
FITEM,2,-57
FITEM,2,60
FITEM,2,-64
FITEM,2,73
FITEM,2,-97
FITEM,2,111
FITEM,2,-118
FITEM,2,120
FITEM,2,-216
/GO
!*
SFA,P51X,1,CONV,15,298
!!!! Apply Loadstep RTH

!<%%%%%%%% Loadstep 1

!!!! Apply Heatflux
FLST,2,1,5,ORDE,1
FITEM,2,164
/GO
!*

SFA,P51X,1,HFLUX,138242667
!*
!!!! Time Loadstep
TIME,2.4
AUTOTS,0
NSUBST,2,,1
KBC,1
!*
!!!! Nomor Loadstep
TSRES,ERASE
LSWRITE,1,
!!!! Delete HeatFlux
FLST,2,187,5,ORDE,12
FITEM,2,1
FITEM,2,-49
FITEM,2,55
FITEM,2,-57
FITEM,2,60
FITEM,2,-64
FITEM,2,73
FITEM,2,-97
FITEM,2,111
FITEM,2,-118
FITEM,2,120
FITEM,2,-216
SFADELE,P51X,1,HFLUX
```

!<%%%%%%%% Loadstep  
2

!!!! Apply Heatflux  
FLST,2,1,5,ORDE,1  
FITEM,2,160  
/GO  
!\*  
SFA,P51X,1,HFLUX,138242667  
!\*  
!!!! Time Loadstep  
TIME,4.8  
AUTOTS,0  
NSUBST,2, , 1  
KBC,1  
!\*  
!!!! Nomor Loadstep  
TSRES,ERASE  
LSWRITE,2,  
!!!! Delete Heatflux  
FLST,2,187,5,ORDE,12  
FITEM,2,1  
FITEM,2,-49  
FITEM,2,55  
FITEM,2,-57  
FITEM,2,60  
FITEM,2,-64  
FITEM,2,73  
FITEM,2,-97  
FITEM,2,111  
FITEM,2,-118  
FITEM,2,120  
FITEM,2,-216  
SFADELE,P51X,1,HFLUX

!<%%%%%%%% Loadstep  
3

!!!! Apply Heatflux  
FLST,2,1,5,ORDE,1  
FITEM,2,156  
/GO  
!\*  
SFA,P51X,1,HFLUX,138242667  
!\*  
!!!! Time Loadstep

TIME,7.2  
AUTOTS,0  
NSUBST,2, , 1  
KBC,1  
!\*  
!!!! Nomor Loadstep  
TSRES,ERASE  
LSWRITE,3,  
!!!! Delete Heatflux  
FLST,2,187,5,ORDE,12  
FITEM,2,1  
FITEM,2,-49  
FITEM,2,55  
FITEM,2,-57  
FITEM,2,60  
FITEM,2,-64  
FITEM,2,73  
FITEM,2,-97  
FITEM,2,111  
FITEM,2,-118  
FITEM,2,120  
FITEM,2,-216  
SFADELE,P51X,1,HFLUX

!<%%%%%%%% Loadstep 4

!!!! Apply Heatflux  
FLST,2,1,5,ORDE,1  
FITEM,2,152  
/GO  
!\*  
SFA,P51X,1,HFLUX,138242667  
!\*  
!!!! Time Loadstep  
TIME,9.6  
AUTOTS,0  
NSUBST,2, , 1  
KBC,1  
!\*  
!!!! Nomor Loadstep  
TSRES,ERASE  
LSWRITE,4,  
!!!! Delete Heatflux  
FLST,2,187,5,ORDE,12  
FITEM,2,1  
FITEM,2,-49

FITEM,2,55  
 FITEM,2,-57  
 FITEM,2,60  
 FITEM,2,-64  
 FITEM,2,73  
 FITEM,2,-97  
 FITEM,2,111  
 FITEM,2,-118  
 FITEM,2,120  
 FITEM,2,-216  
 SFADELE,P51X,1,HFLUX  
  
 !<%%%%%%%% Loadstep 5  
  
 !!!!! Apply Heatflux  
 FLST,2,1,5,ORDE,1  
 FITEM,2,148  
 /GO  
 !\*  
 SFA,P51X,1,HFLUX,138242667  
 !\*  
 !!!!! Time Loadstep  
 TIME,12  
 AUTOTS,0  
 NSUBST,2, , ,1  
 KBC,1  
 !\*  
 !!!!! Nomor Loadstep  
 TSRES,ERASE  
 LSWRITE,5,  
 !!!!! Delete Heatflux  
 FLST,2,187,5,ORDE,12  
 FITEM,2,1  
 FITEM,2,-49  
 FITEM,2,55  
 FITEM,2,-57  
 FITEM,2,60  
 FITEM,2,-64  
 FITEM,2,73  
 FITEM,2,-97  
 FITEM,2,111  
 FITEM,2,-118  
 FITEM,2,120  
 FITEM,2,-216  
 SFADELE,P51X,1,HFLUX

!<%%%%%%%% Loadstep 6

!!!!! Apply Heatflux  
 FLST,2,1,5,ORDE,1  
 FITEM,2,144  
 /GO  
 !\*  
 SFA,P51X,1,HFLUX,138242667  
 !\*  
 !!!!! Time Loadstep  
 TIME,14.4  
 AUTOTS,0  
 NSUBST,2, , ,1  
 KBC,1  
 !\*  
 !!!!! Nomor Loadstep  
 TSRES,ERASE  
 LSWRITE,6,  
 !!!!! Delete Heatflux  
 FLST,2,187,5,ORDE,12  
 FITEM,2,1  
 FITEM,2,-49  
 FITEM,2,55  
 FITEM,2,-57  
 FITEM,2,60  
 FITEM,2,-64  
 FITEM,2,73  
 FITEM,2,-97  
 FITEM,2,111  
 FITEM,2,-118  
 FITEM,2,120  
 FITEM,2,-216  
 SFADELE,P51X,1,HFLUX

!<%%%%%%%% Loadstep 7

!!!!! Apply Heatflux  
 FLST,2,1,5,ORDE,1  
 FITEM,2,140  
 /GO  
 !\*  
 SFA,P51X,1,HFLUX,138242667  
 !\*  
 !!!!! Time Loadstep

TIME,16.8  
 AUTOTS,0  
 NSUBST,2, , ,1  
 KBC,1  
 !\*  
 !!!!! Nomor Loadstep  
 TSRES,ERASE  
 LSWRITE,7,  
 !!!!! Delete Heatflux  
 FLST,2,187,5,ORDE,12  
 FITEM,2,1  
 FITEM,2,-49  
 FITEM,2,55  
 FITEM,2,-57  
 FITEM,2,60  
 FITEM,2,-64  
 FITEM,2,73  
 FITEM,2,-97  
 FITEM,2,111  
 FITEM,2,-118  
 FITEM,2,120  
 FITEM,2,-216  
 SFADELE,P51X,1,HFLUX  
  
 !<%%%%%%%% Loadstep  
 8  
  
 !!!!! Apply Heatflux  
 FLST,2,1,5,ORDE,1  
 FITEM,2,136  
 /GO  
 !\*  
 SFA,P51X,1,HFLUX,138242667  
 !\*  
 !!!!! Time Loadstep  
 TIME,19.2  
 AUTOTS,0  
 NSUBST,2, , ,1  
 KBC,1  
 !\*  
 !!!!! Nomor Loadstep  
 TSRES,ERASE  
 LSWRITE,8,  
 !!!!! Delete Heatflux  
 FLST,2,187,5,ORDE,12  
 FITEM,2,1

FITEM,2,-49  
 FITEM,2,55  
 FITEM,2,-57  
 FITEM,2,60  
 FITEM,2,-64  
 FITEM,2,73  
 FITEM,2,-97  
 FITEM,2,111  
 FITEM,2,-118  
 FITEM,2,120  
 FITEM,2,-216  
 SFADELE,P51X,1,HFLUX  
  
 !<%%%%%%%% Loadstep 9  
  
 !!!!! Apply Heatflux  
 FLST,2,1,5,ORDE,1  
 FITEM,2,132  
 /GO  
 !\*  
 SFA,P51X,1,HFLUX,138242667  
 !\*  
 !!!!! Time Loadstep  
 TIME,21.6  
 AUTOTS,0  
 NSUBST,2, , ,1  
 KBC,1  
 !\*  
 !!!!! Nomor Loadstep  
 TSRES,ERASE  
 LSWRITE,9,  
 !!!!! Delete Heatflux  
 FLST,2,187,5,ORDE,12  
 FITEM,2,1  
 FITEM,2,-49  
 FITEM,2,55  
 FITEM,2,-57  
 FITEM,2,60  
 FITEM,2,-64  
 FITEM,2,73  
 FITEM,2,-97  
 FITEM,2,111  
 FITEM,2,-118  
 FITEM,2,120  
 FITEM,2,-216

SFADELE,P51X,1,HFLUX

! <%%%%%%%% Loadstep 10

! \*\*\*\* Lakukan seperti Loadstep sebelumnya sampai Loadstep 118 dan lanjutkan dengan Loadstep pendinginan seperti dibawah ini :

! \*\*\*\*\* Loadstep 119

!! Pendinginan 2 jam

!!!! Time Loadstep

TIME,7200

AUTOTS,0

NSUBST,62, , ,1

KBC,1

!\*

!!!! Nomor Loadstep

TSRES,ERASE

LSWRITE,119,

NSUBST,7, , ,1

KBC,1

!\*

!!!! Delete All Load

LSCLEAR,ALL

!!!! Solve

LSSOLVE,1,119,1,

FILE,'Seq-Tengah-Glue','rth',''

! SAVE, Seq-Tengah-Glue,db,

! eplot

FINISH



! \*\*\*\*\* ANALISA STRUKTURAL \*\*\*\*\*

!!!!!! \*\*\*\*\* Perubahan Elemen  
*Thermal to Structural (TTS)*

/PREP7  
 ETCHG,TTS  
 FINISH

/SOL  
 LSCLEAR,ALL

!\*  
 ANTYPE,4  
 !\*

TRNOPT,FULL  
 LUMPM,0  
 !\*

TUNIF,298,  
 TREF,298,  
 !\*

! OUTPR,ALL,ALL,  
 ! /GST,1  
 !\*

OUTRES,ALL,LAST,

!!!! \*\*\*\*\* Boundary Condition

!!!! Area 60

FLST,2,1,5,ORDE,1  
 FITEM,2,60  
 !\*

/GO  
 DA,P51X,UX,0

FLST,2,1,5,ORDE,1  
 FITEM,2,60  
 !\*

/GO  
 DA,P51X,UY,0

FLST,2,1,5,ORDE,1  
 FITEM,2,60  
 !\*

/GO  
 DA,P51X,UZ,0

!!!! Area 62

FLST,2,1,5,ORDE,1  
 FITEM,2,62  
 !\*

/GO  
 DA,P51X,UX,0

FLST,2,1,5,ORDE,1  
 FITEM,2,62  
 !\*

/GO  
 DA,P51X,UY,0

FLST,2,1,5,ORDE,1  
 FITEM,2,62  
 !\*

/GO  
 DA,P51X,UZ,0

!!!!\*\*\*\*\* Apply Loadstep

!!!!\*\*\*\*\* Loadstep 1

LDREAD,TEMP,1,last, , , 'Seq-  
Tengah-Glue','rth',''  
! OUTPR,ALL,ALL,  
! /GST,1  
!\*  
NEQIT,1000  
TIME,2.4  
AUTOTS,0  
NSUBST,2, , , 1  
KBC,1  
TSRES,ERASE  
LSWRITE,1,

!!!!\*\*\*\*\* Loadstep 2

LDREAD,TEMP,2,last, , , 'Seq-  
Tengah-Glue','rth',''  
! OUTPR,ALL,ALL,  
! /GST,1  
!\*  
NEQIT,1000  
TIME,4.8  
AUTOTS,0  
NSUBST,2, , , 1  
KBC,1  
TSRES,ERASE  
LSWRITE,2,

!!!!\*\*\*\*\* Loadstep 3

LDREAD,TEMP,3,last, , , 'Seq-  
Tengah-Glue','rth',''  
! OUTPR,ALL,ALL,  
! /GST,1  
!\*  
NEQIT,1000  
TIME,7.2  
AUTOTS,0  
NSUBST,2, , , 1  
KBC,1  
TSRES,ERASE  
LSWRITE,3,

!!!!\*\*\*\*\* Loadstep 4

LDREAD,TEMP,4,last, , , 'Seq-Tengah-  
Glue','rth',''  
! OUTPR,ALL,ALL,  
! /GST,1  
!\*  
NEQIT,1000  
TIME,9.6  
AUTOTS,0  
NSUBST,2, , , 1  
KBC,1  
TSRES,ERASE  
LSWRITE,4,

!!!!\*\*\*\*\* Loadstep 5

LDREAD,TEMP,5,last, , , 'Seq-Tengah-  
Glue','rth',''  
! OUTPR,ALL,ALL,  
! /GST,1  
!\*  
NEQIT,1000  
TIME,12  
AUTOTS,0  
NSUBST,2, , , 1  
KBC,1  
TSRES,ERASE  
LSWRITE,5,

!!!!\*\*\*\*\* Loadstep 6

LDREAD,TEMP,6,last, , , 'Seq-Tengah-  
Glue','rth',''  
! OUTPR,ALL,ALL,  
! /GST,1  
!\*  
NEQIT,1000  
TIME,14.4  
AUTOTS,0  
NSUBST,2, , , 1  
KBC,1  
TSRES,ERASE  
LSWRITE,6,

!!!!\*\*\*\*\* Loadstep 7

LDREAD,TEMP,7,last, , , 'Seq-  
Tengah-Glue','rth','.'  
! OUTPR,ALL,ALL,  
! /GST,1  
!\*  
NEQIT,1000  
TIME,16.8  
AUTOTS,0  
NSUBST,2, , , 1  
KBC,1  
TSRES,ERASE  
LSWRITE,7,

!!!!\*\*\*\*\* Loadstep 8

LDREAD,TEMP,8,last, , , 'Seq-  
Tengah-Glue','rth','.'  
! OUTPR,ALL,ALL,  
! /GST,1  
!\*  
NEQIT,1000  
TIME,19.2  
AUTOTS,0  
NSUBST,2, , , 1  
KBC,1  
TSRES,ERASE  
LSWRITE,8,

!!!!\*\*\*\*\* Loadstep 9

LDREAD,TEMP,9,last, , , 'Seq-  
Tengah-Glue','rth','.'  
! OUTPR,ALL,ALL,  
! /GST,1  
!\*  
NEQIT,1000  
TIME,21.6  
AUTOTS,0  
NSUBST,2, , , 1  
KBC,1  
TSRES,ERASE  
LSWRITE,9,

!!!!\*\*\*\*\* Loadstep 10

LDREAD,TEMP,10,last, , , 'Seq-Tengah-  
Glue','rth','.'  
! OUTPR,ALL,ALL,  
! /GST,1  
!\*  
NEQIT,1000  
TIME,24  
AUTOTS,0  
NSUBST,2, , , 1  
KBC,1  
TSRES,ERASE  
LSWRITE,10,

!!!!\*\*\*\*\* Loadstep 11

LDREAD,TEMP,11,last, , , 'Seq-Tengah-  
Glue','rth','.'  
! OUTPR,ALL,ALL,  
! /GST,1  
!\*  
NEQIT,1000  
TIME,26.4  
AUTOTS,0  
NSUBST,2, , , 1  
KBC,1  
TSRES,ERASE  
LSWRITE,11,

!!!!\*\*\*\*\* Loadstep 12

LDREAD,TEMP,12,last, , , 'Seq-Tengah-  
Glue','rth','.'  
! OUTPR,ALL,ALL,  
! /GST,1  
!\*  
NEQIT,1000  
TIME,28.8  
AUTOTS,0  
NSUBST,2, , , 1  
KBC,1  
TSRES,ERASE  
LSWRITE,12,

!!!!\*\*\*\*\* Loadstep 13

!!!!\*\*\*\*\* Lakukan seperti Loadstep  
sebelumnya sampai Loadstep 118 dan  
lanjutkan dengan Loadstep  
pendinginan seperti dibawah ini :

!!!!\*\*\*\*\* Loadstep 119

!!!!\*\*\*\*\* Pendinginan selama 2  
jam

LDREAD,TEMP,119,last, , , 'Seq-  
Tengah-Glue','rth','.'  
! OUTPR,ALL,ALL,  
! /GST,1  
NEQIT,1000  
TIME,7200  
AUTOTS,0  
NSUBST,7, , , 1  
KBC,1  
TSRES,ERASE  
LSWRITE,119,

!!!! Solve

LSSOLVE,1,119,1,

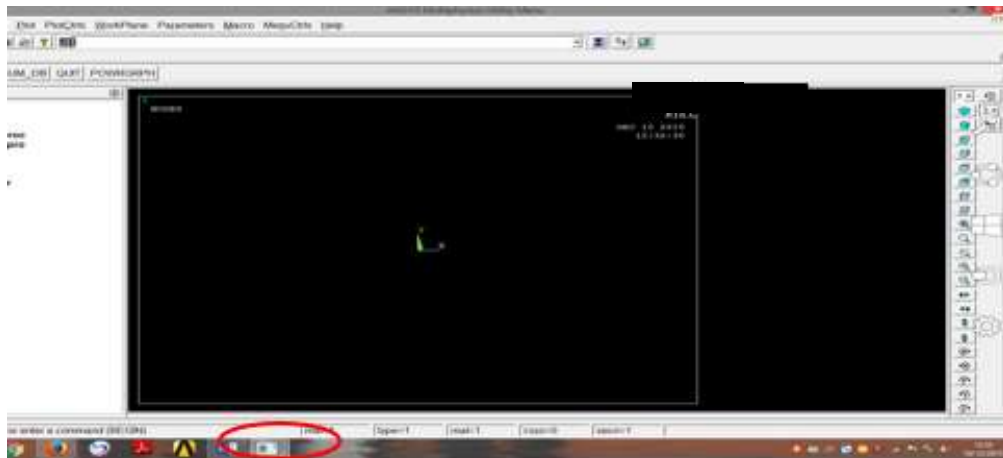
INRES,ALL

FILE,'Seq-Tengah-Glue','rst','.'

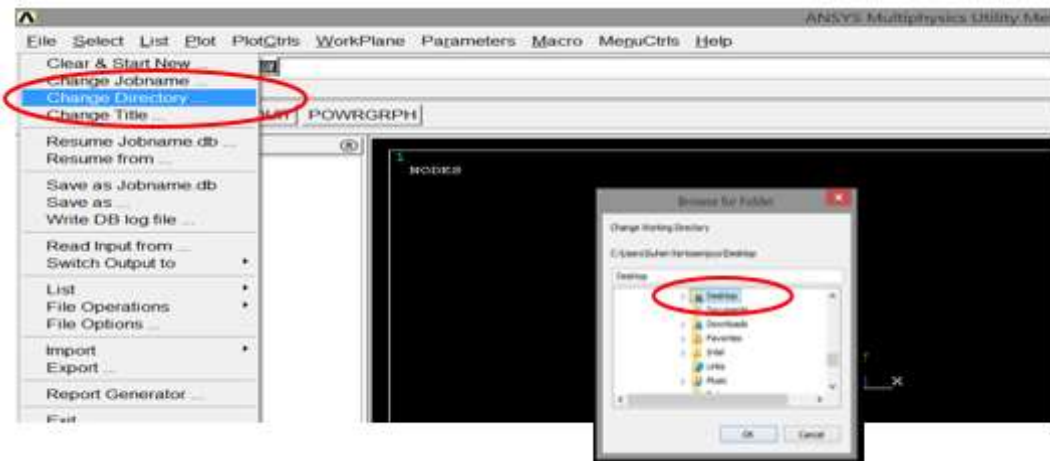
FINISH

## PEMODELAN THERMAL (RTH)

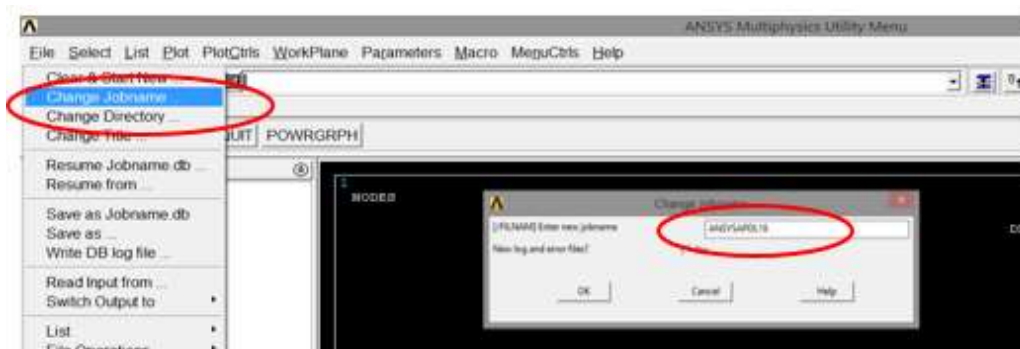
1. Buka program **ANSYS APDL 16 mechanical**



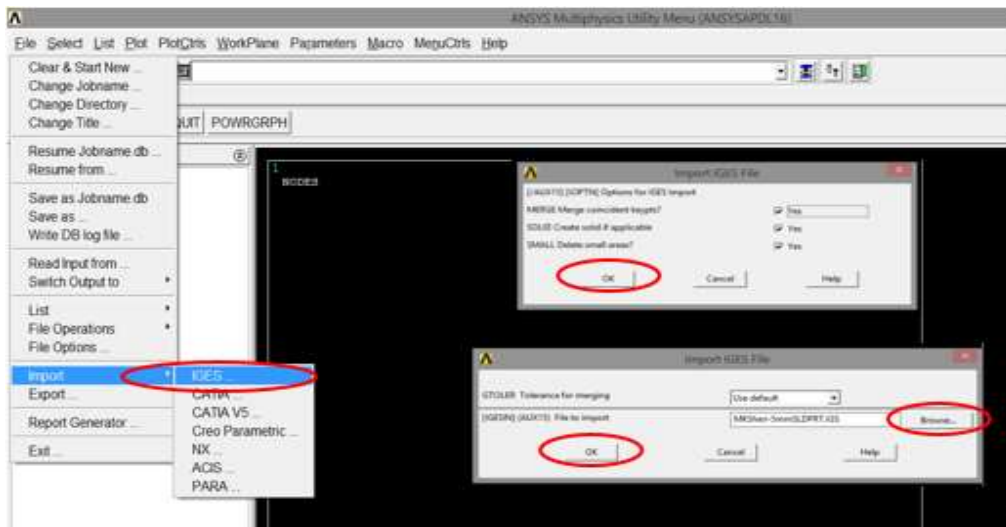
2. Buka file → pilih **Change Directory** (untuk tempat penyimpanan)



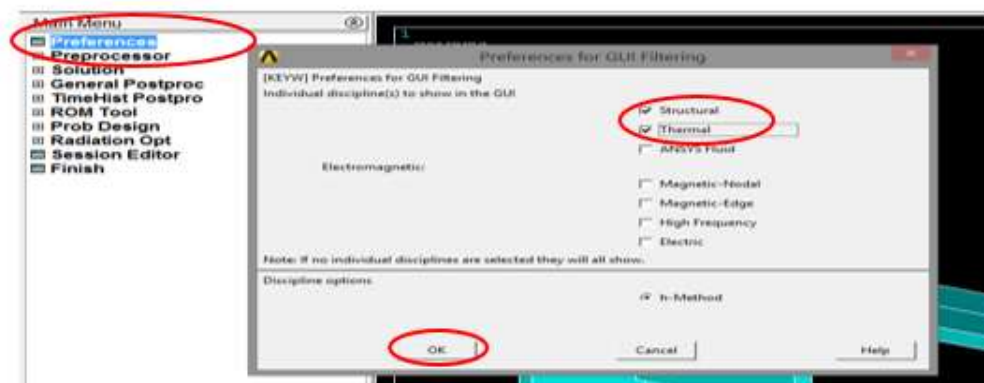
3. Buka File → pilih **Change Jobname** (tulis nama Project)



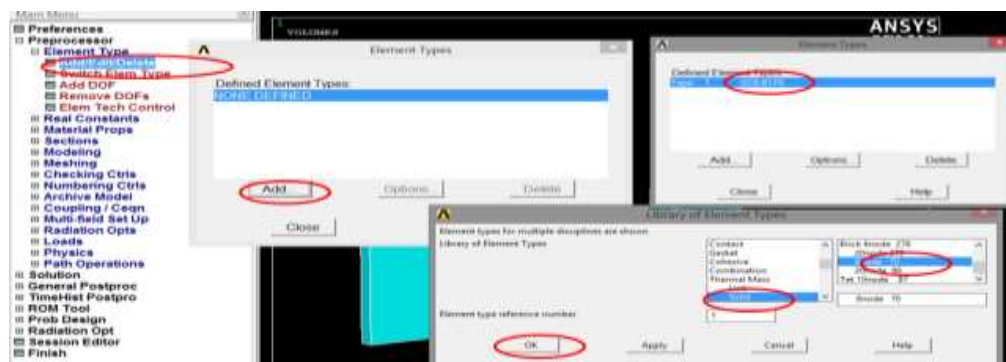
4. Buka File → Import → **IGES** (browse file IGES)



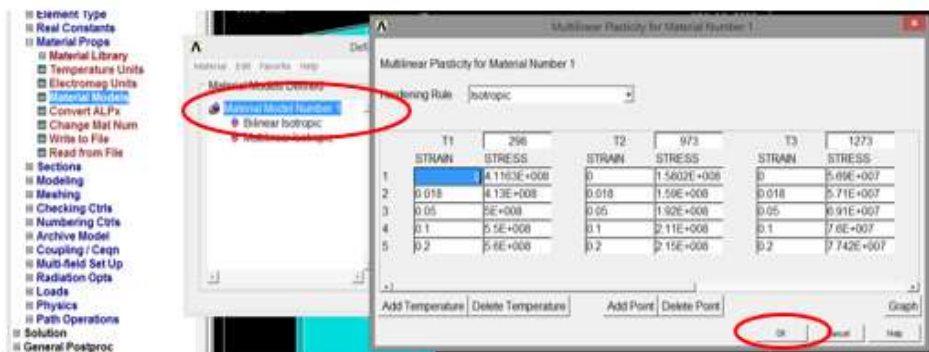
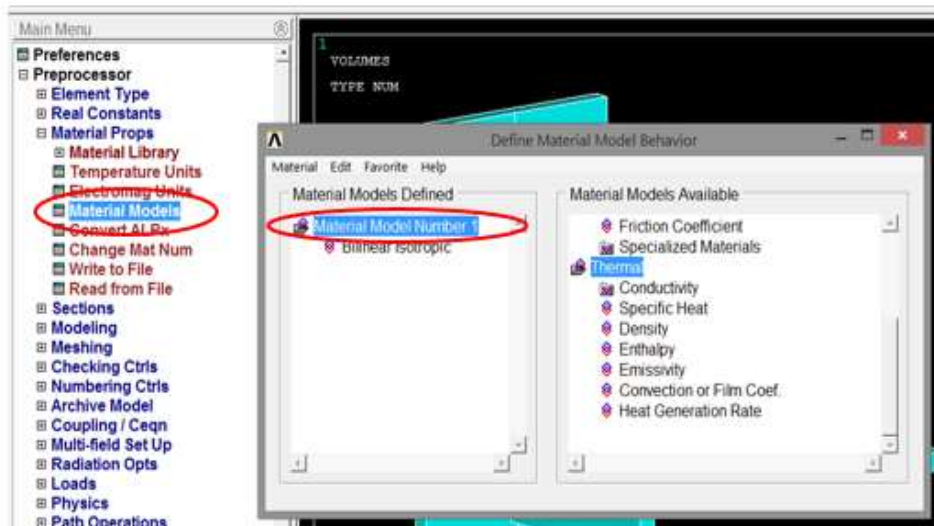
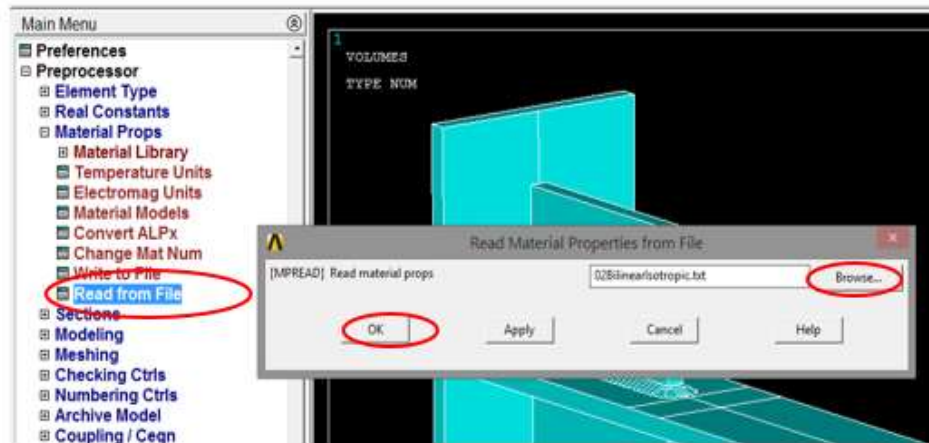
5. Main menu → Pilih **Preferences** → check Structural dan thermal



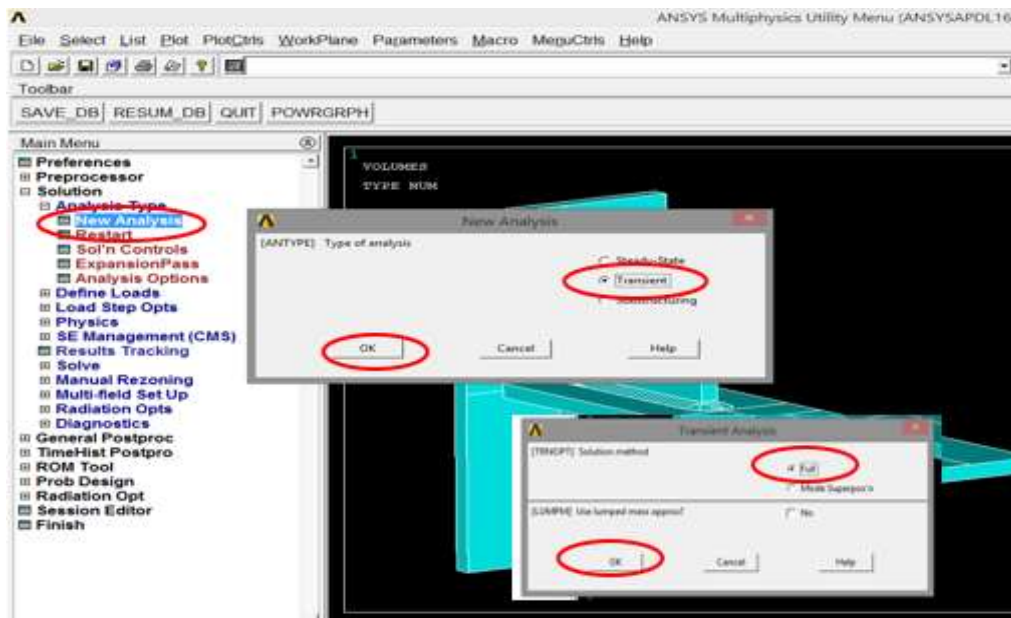
6. Main menu → Preprocessor → Element Type → pilih **Add/Edit/Delete** → klik Add → pilih Thermal Mass > Solid > 8 node 70 → OK (pastikan elemen terdaftar pada tabel)



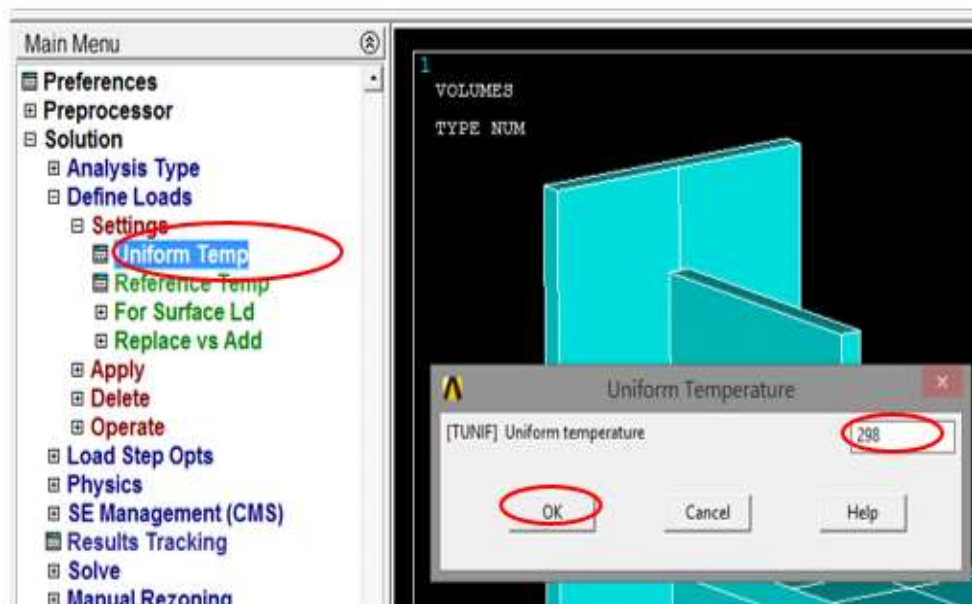
7. Main menu → Preprocessor → Material Prop → pilih **Read from file** → klik browse (cari data material propertis) → (untuk melihat data material pilih Material models > klik material model number)



8. Main menu → Solution → Analysis Type → pilih **New Analysis** → pilih Transient → OK → pilih Full → OK

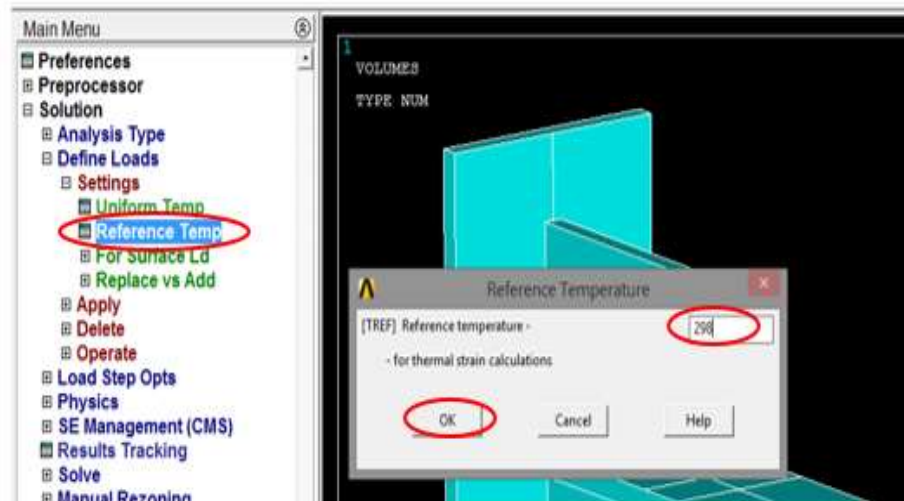


9. Main menu → Solution → Define Loads → Settings → pilih **Uniform Temp** (masukkan temperatur) → OK



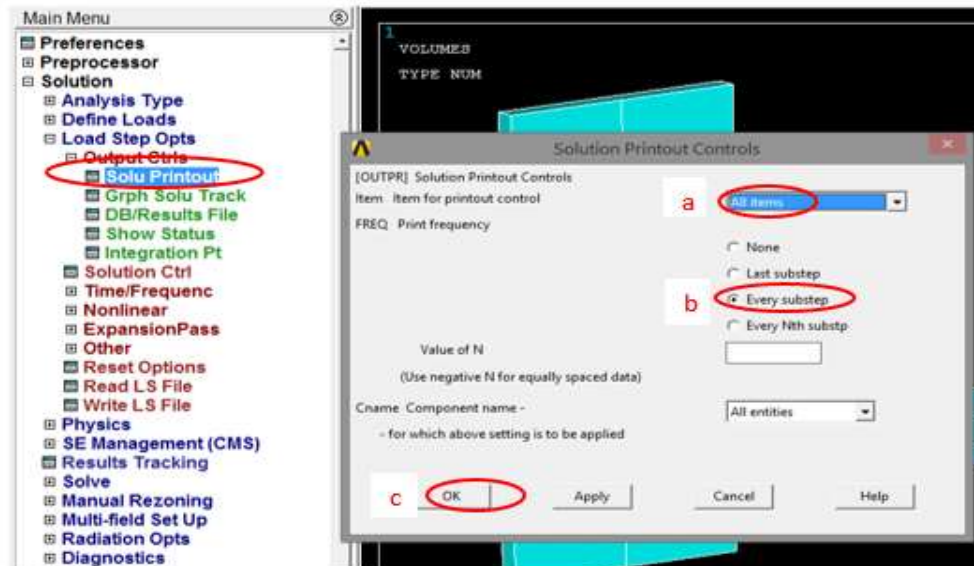


10. Main menu → Solution → Define Loads → Settings → pilih **Reference Temp** (masukkan reference temperatur) → OK

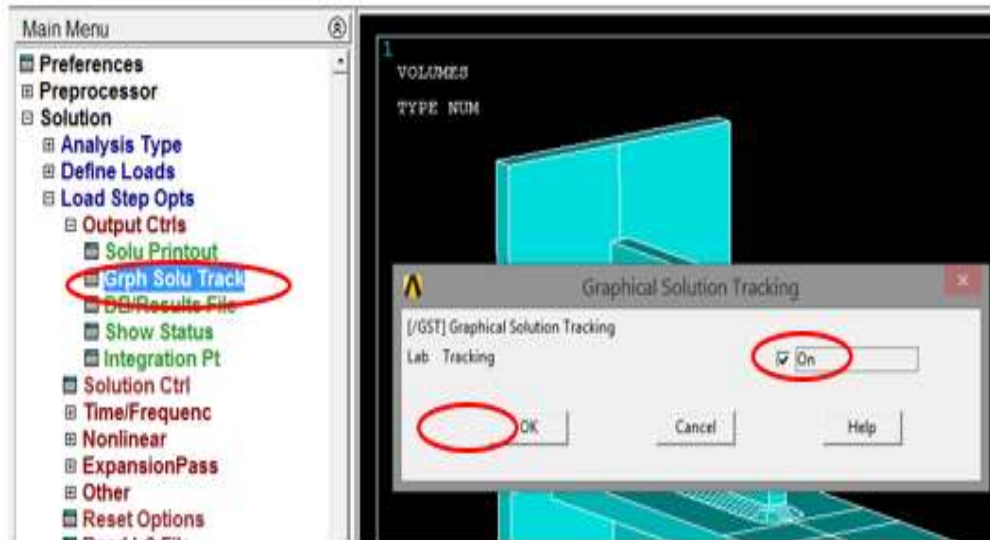


11. Main menu → Solution → Load Step Opts → pilih Output Ctrl → pilih **Solu Print Out** → kemudian pilih berikut :

- Pilih “ All item
- Pilih Every Substep
- Klik OK

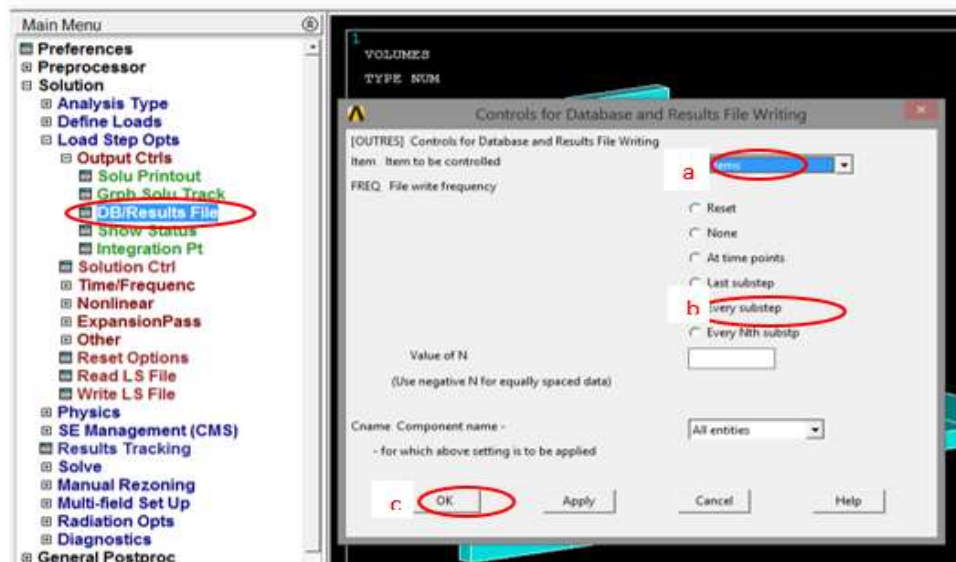


12. Main menu → Solution → Load Step Opts → pilih Output Ctrl → Grph Solu Track → Check pada posisi “ON” → OK



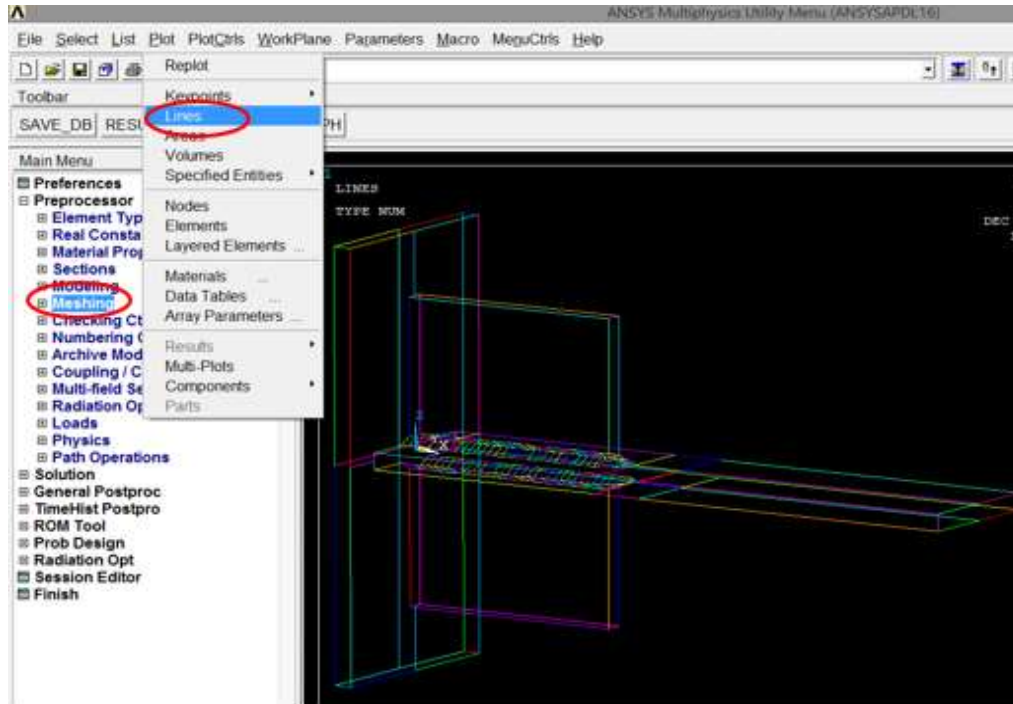
13. Main menu → Solution → Load Step Opts → pilih Output Ctrl → pilih DB/Results File → pilih pada tabel berikut :

- Pilih “All item”
- Pilih Every substep
- Klik OK

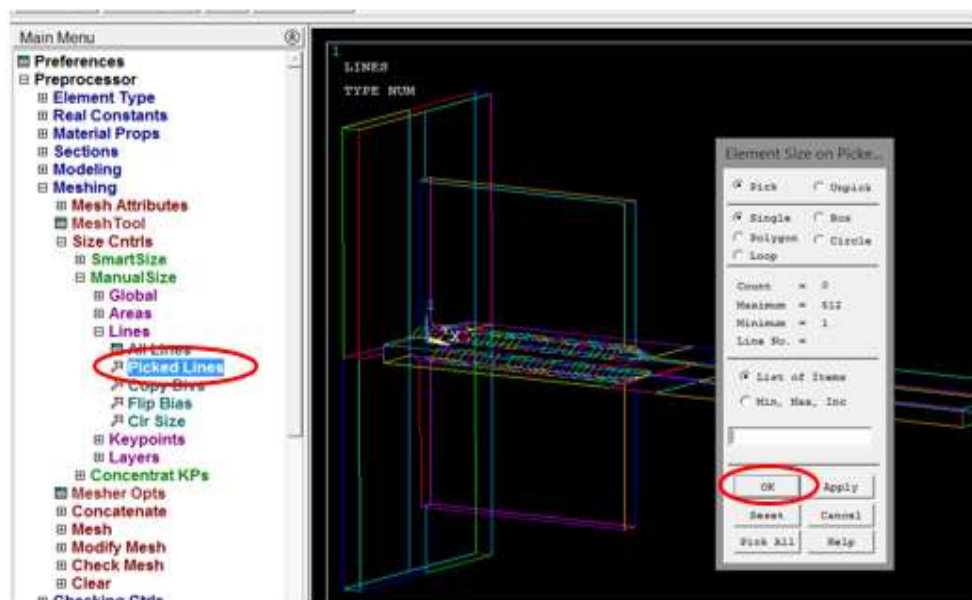


## Meshing

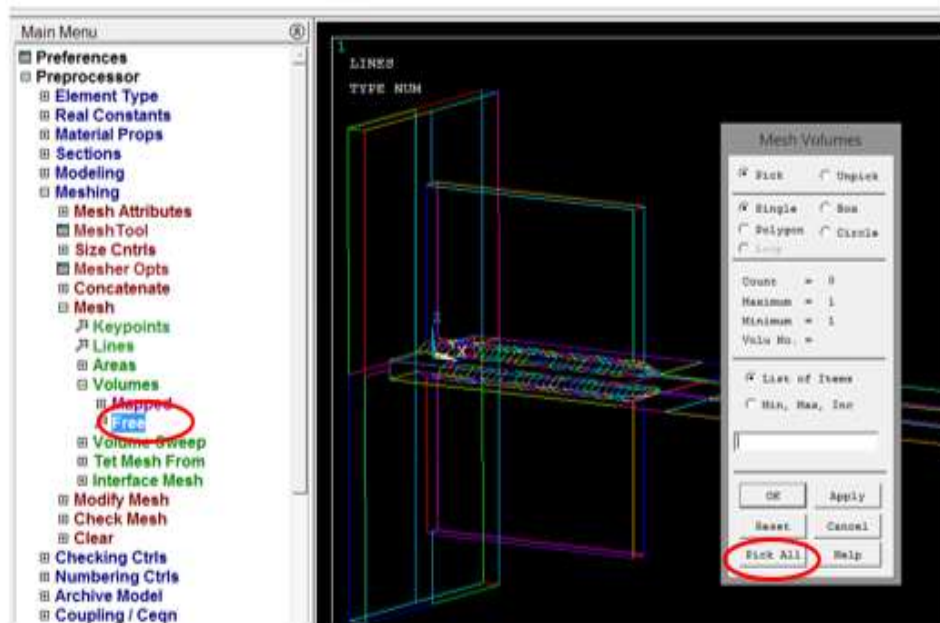
14. Pilih Plot → pilih **Line** (untuk meshing line)



15. Main menu → Preprocessor → pilih Meshing → Size Cntrls → Manual Size → pilih Line → pilih **Picked Line** (tentukan line meshing)

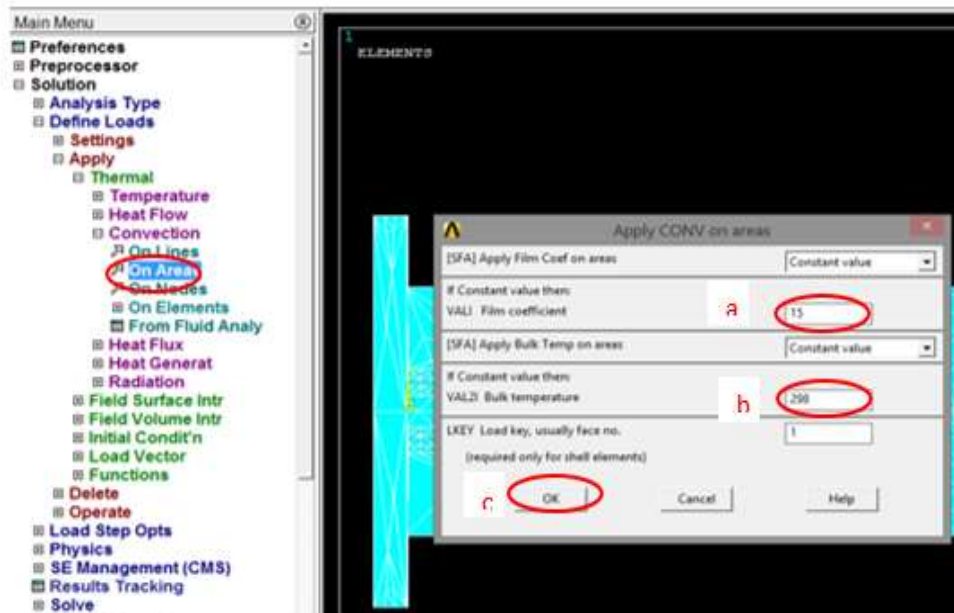


16. Main menu → Preprocessor → Meshing → pilih Mesh → Volumes → pilih Free → Pick All

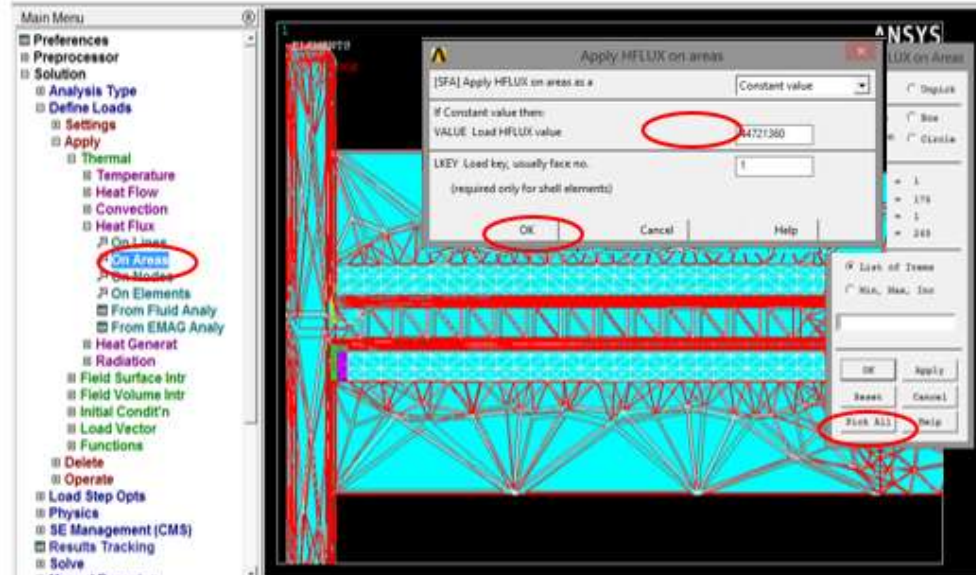


17. Main menu → Solution → Define Loads → Apply → Thermal → Convection → pilih On Area → Pick All → isi nilai tabel berikut :

- Isi kolom Film Coefficient “15”
- Isi kolom Bulk Temperature “298”
- Klik OK

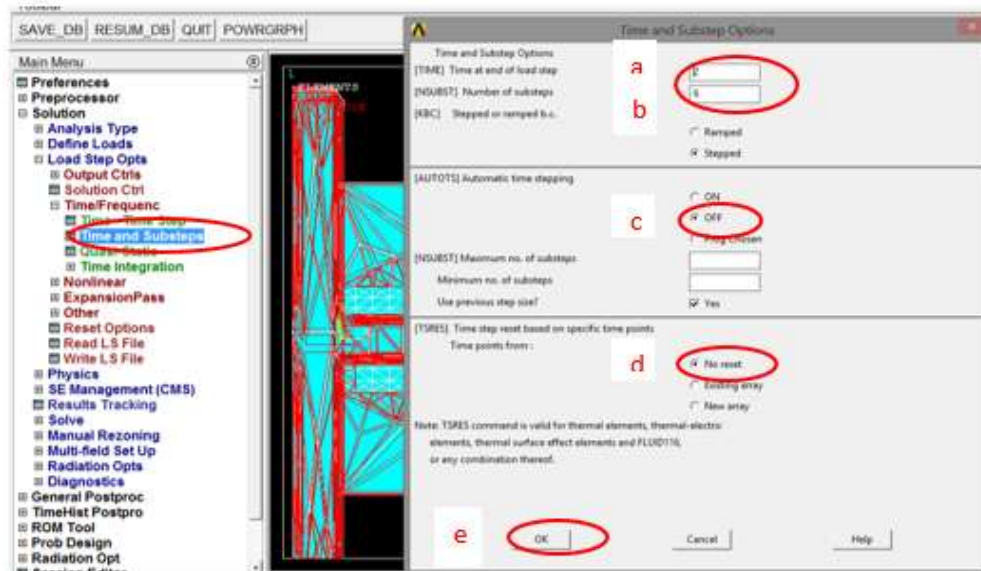


18. Main menu → Solution → Define Loads → Apply → Heat Flux → pilih On Area (pilih Area Weld Bead) → OK



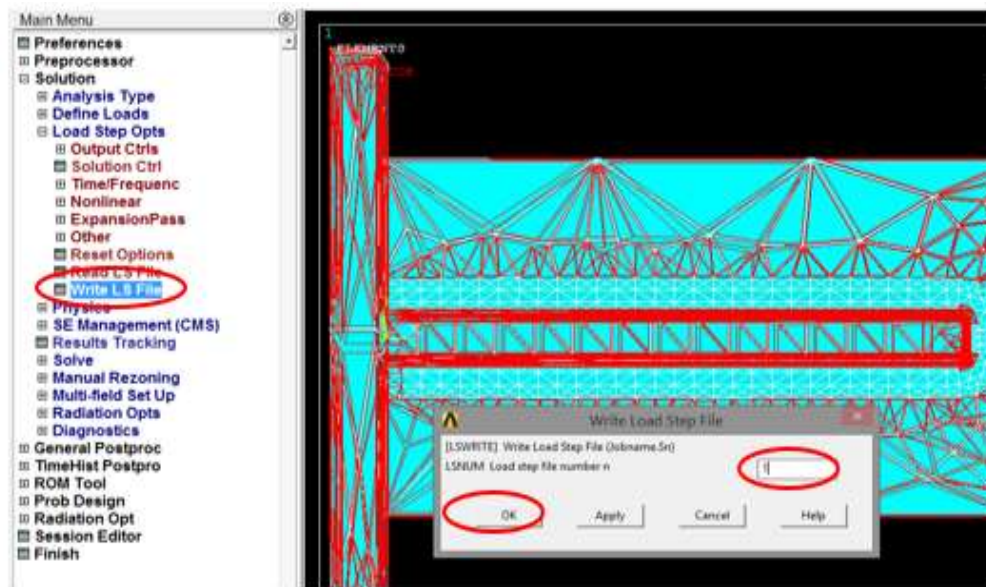
19. Main menu → Solution → Load Step Opts → Time/ Frequency → pilih Time and Substeps → (lengkapi kolom berikut:

- Time “2” (kecepatan pengelasan)
- NSUBST “6” (Nomor substep)
- AUTOTS “OFF”
- TSRES “No reset”
- Klik OK

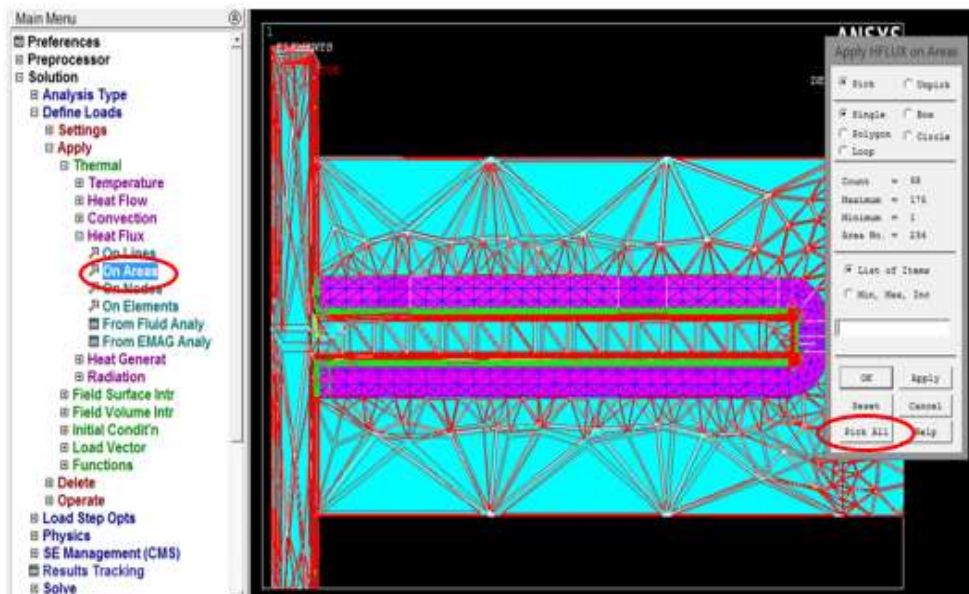




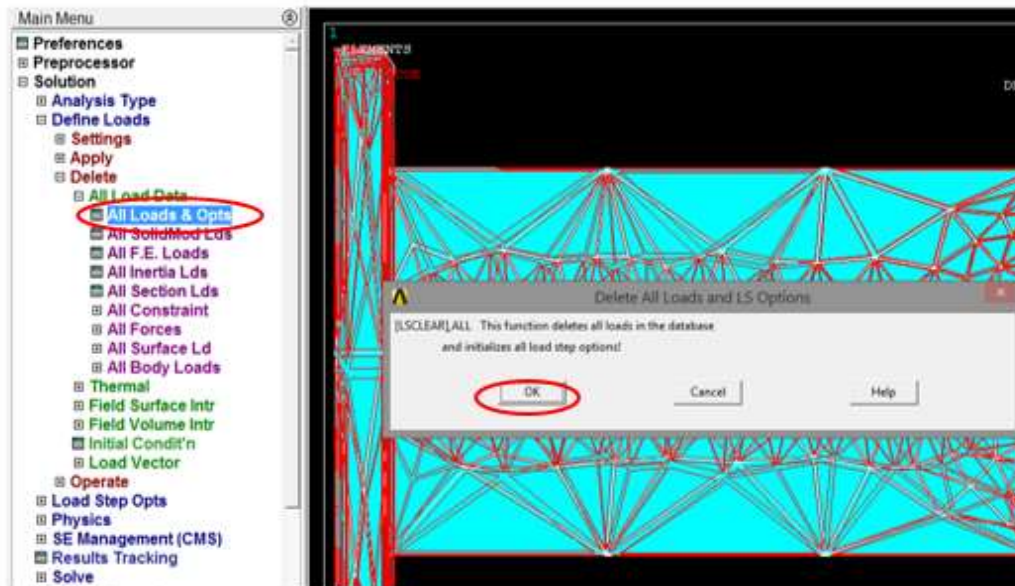
20. Main menu → Solution → Load Step Opts → Pilih **Write LS File** (Sesuai dengan Nomor urut Loadstep)



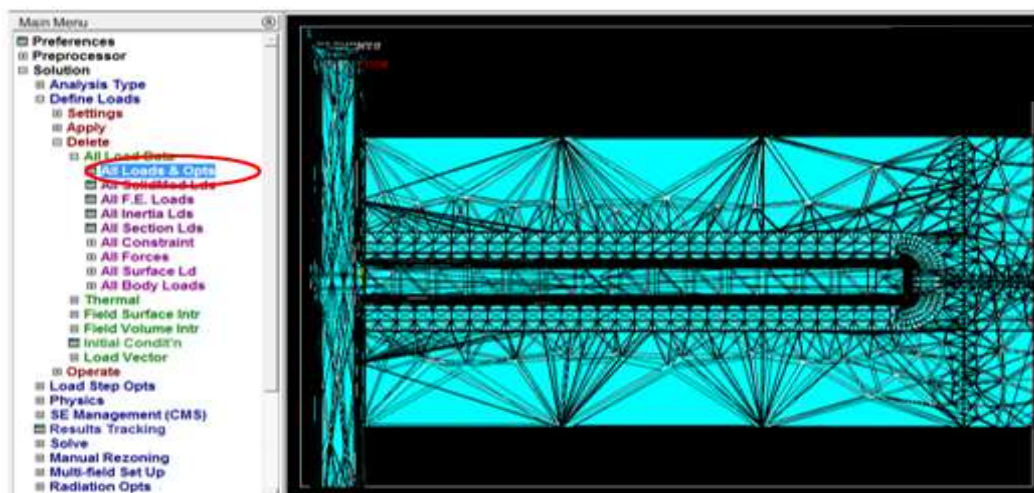
Lakukan LoadStep diatas sehingga semua **Area Weld Bead** sebagai pemodelan pengelasan



21. Main menu → Solution → Define Loads → Delete → All Loads & Data → pilih All Loads & Opts

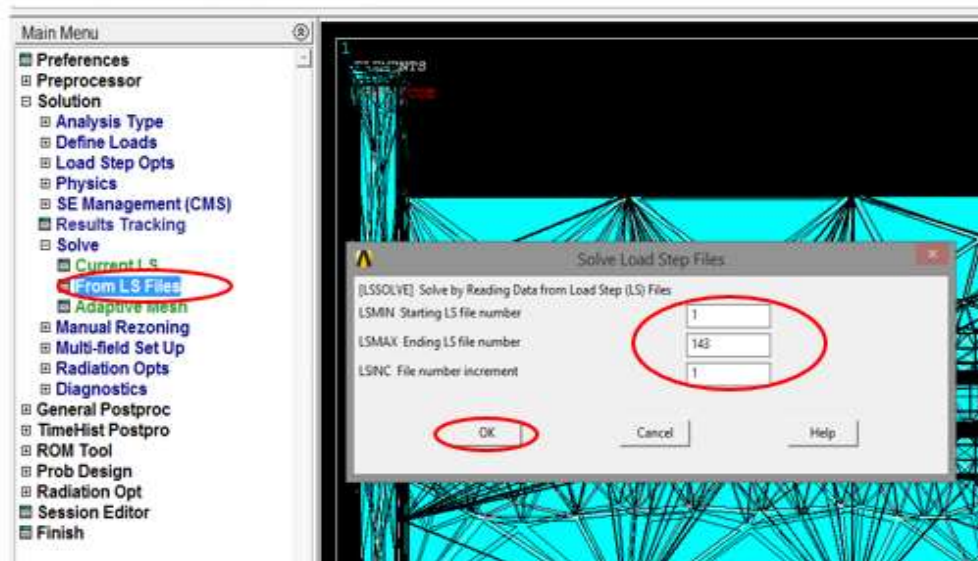


Tampilan akan berubah menjadi seperti gambar dibawah ini :



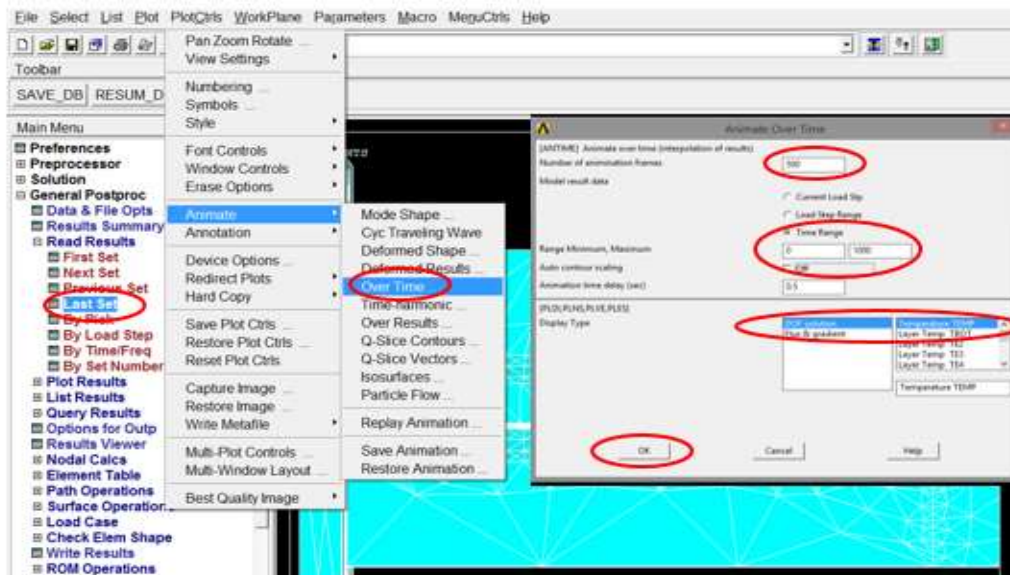
## Solve

22. Main menu → Solution → Solve → pilih From LS Write



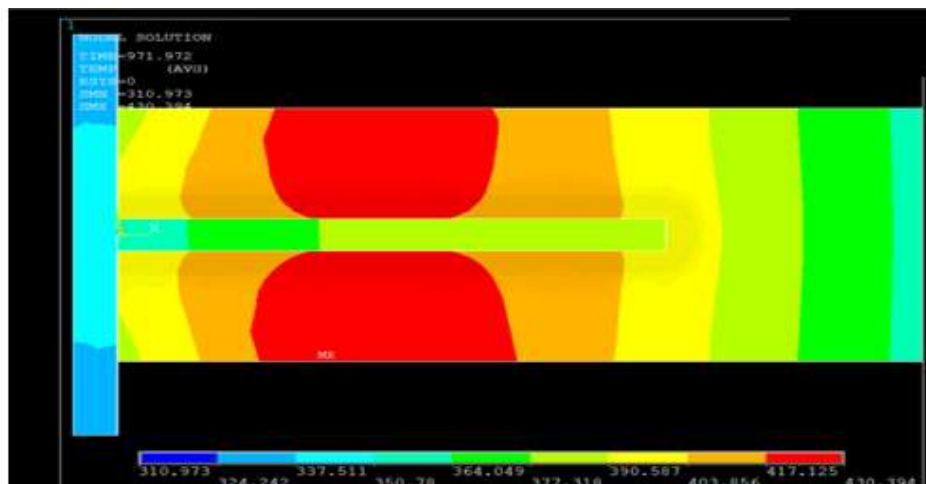
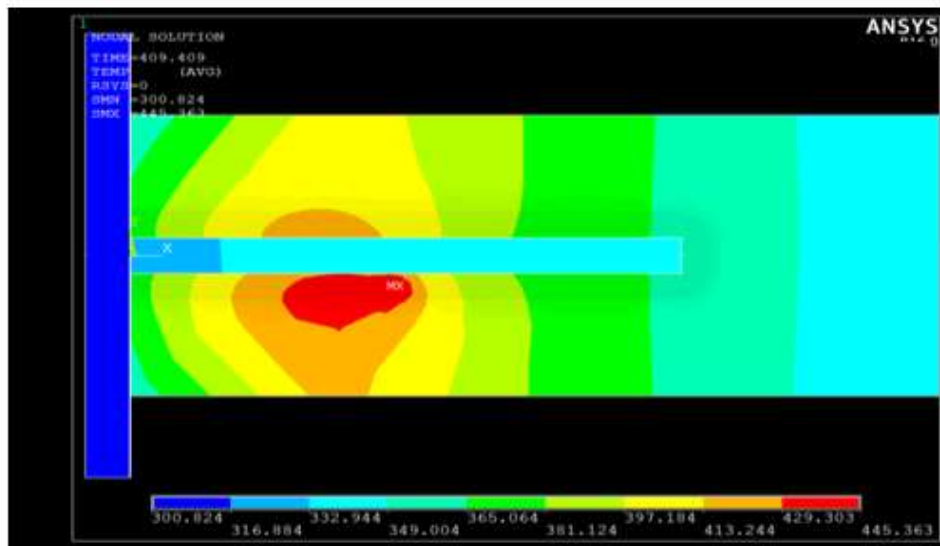
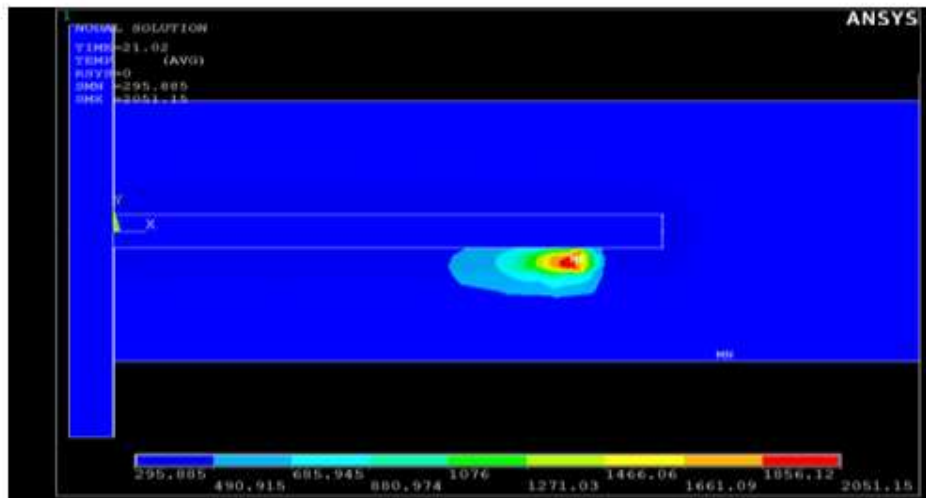
Tunggu sampai hasil Runningnya selesai

23. Main menu → General Postproc → pilih Read Results → Last Set → Buka PlotCtrls → Animate → Over Time (pengaturan waktu disesuaikan dengan pendinginan) → OK



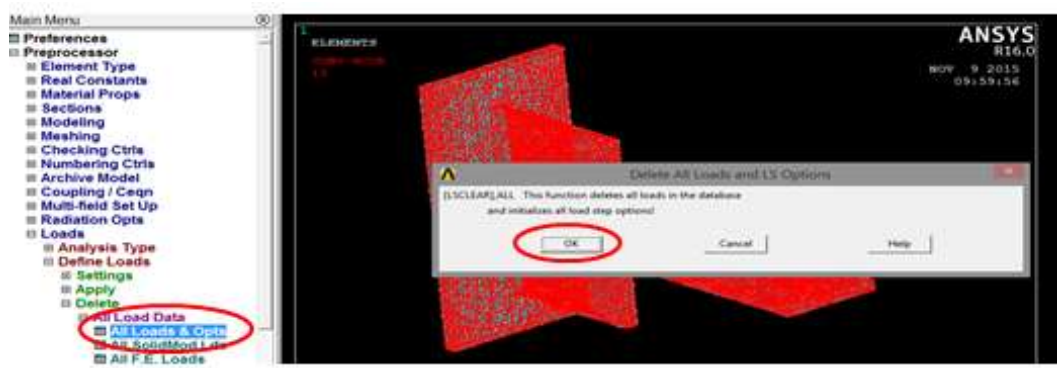


## Hasil pemodelan Thermal

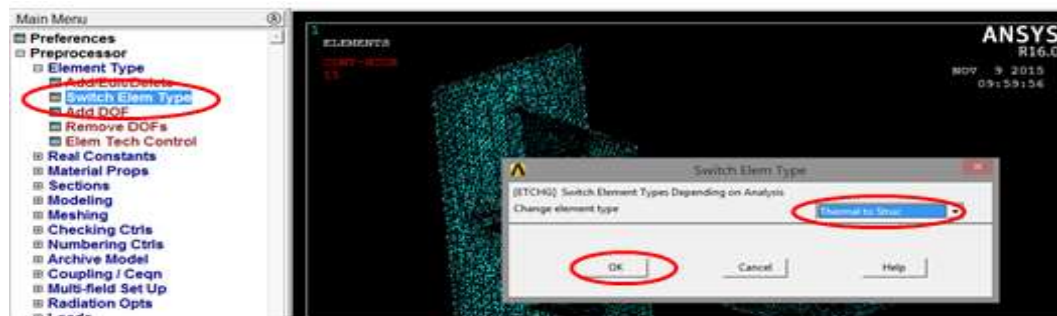


## PEMODELAN STRUKTURAL (RST)

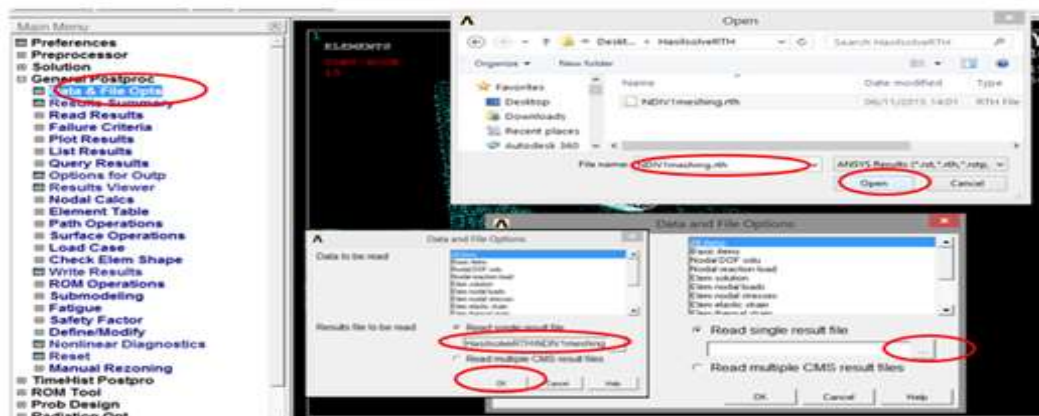
1. Main menu → pilih Preprocessor → Loads → Define Loads → **Delete** → All Load data → pilih **All Loads & opts** → OK (pastikan semua data Load telah dihapus)



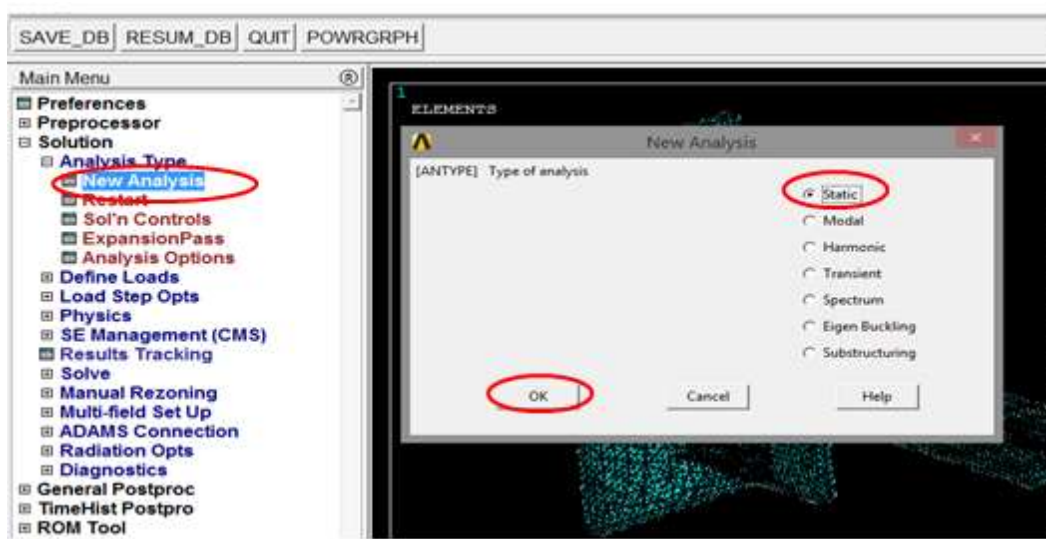
2. Main menu → pilih Preprocessor → Element Type → **Switch Elem Type** → pilih **Thermal to Struc** → OK



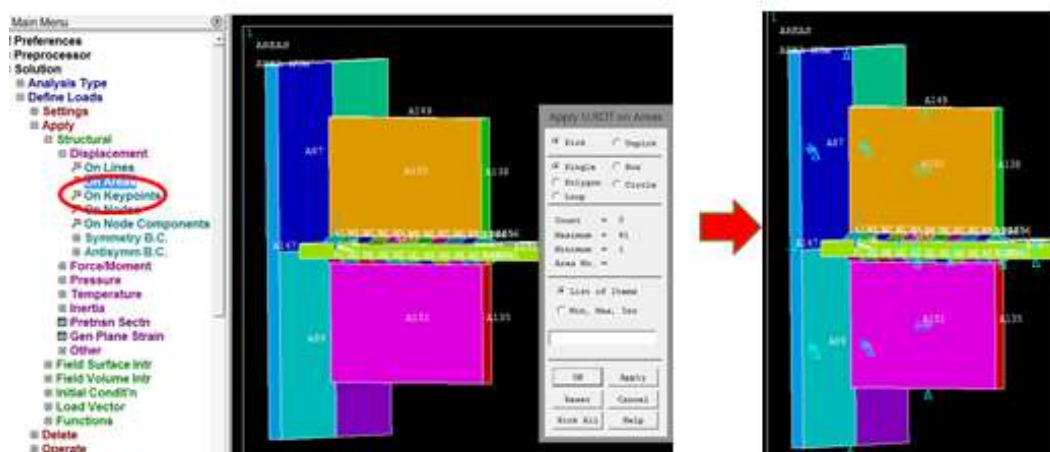
3. Main menu → pilih General Procproc → **Data & File Opts** → Browse → file **rth** → open → OK



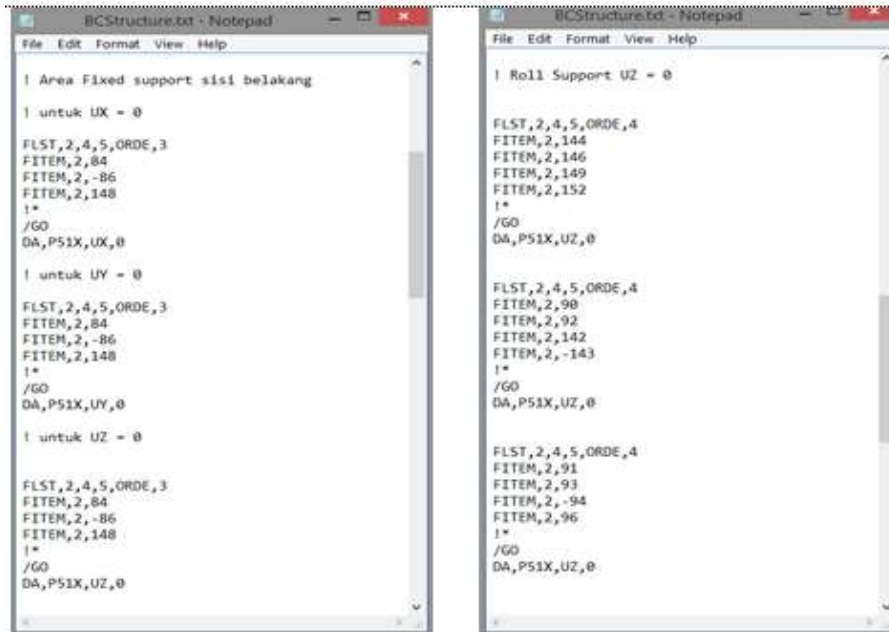
4. Main menu → pilih Solution → **Analysis Type** → New Analysis → pilih **Static** → OK



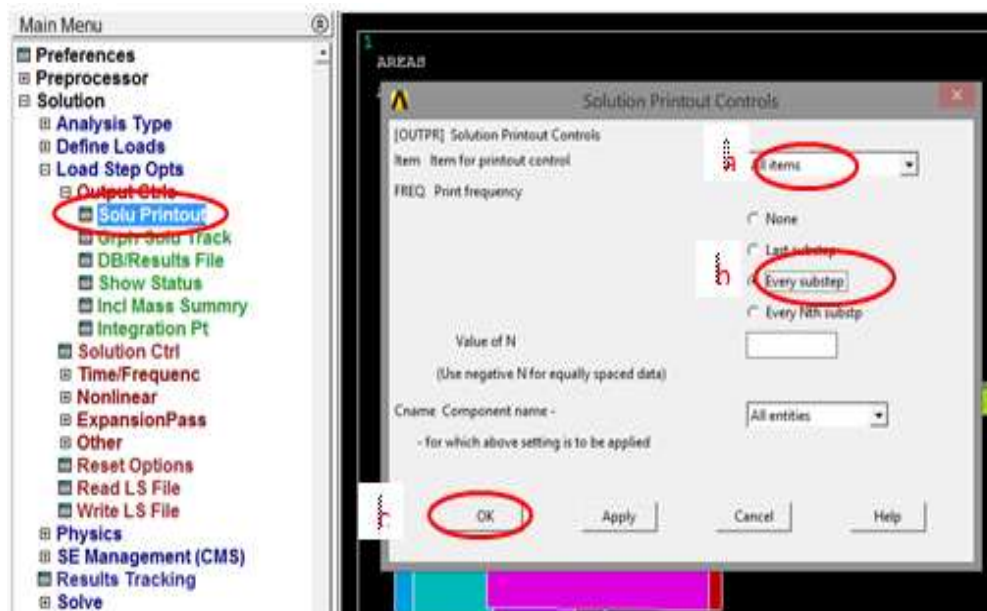
5. Main menu → Pilih Solution → Define Load → Apply → Structural → **Displacement** → On Area (pilih **Boundary condition** terhadap sumbu **UX, UY dan UZ = 0**)



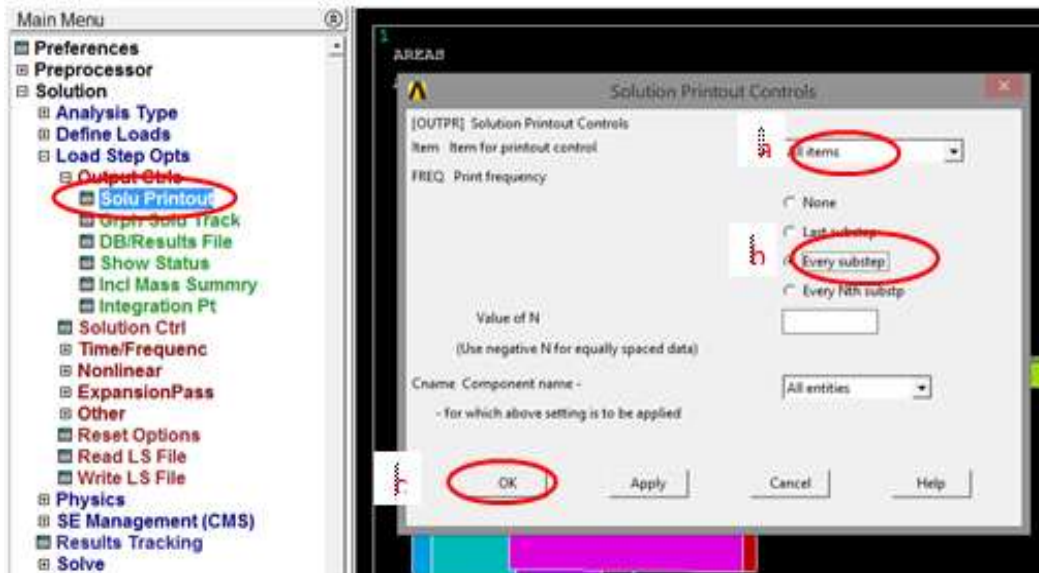
6. Siapkan folder notepad baru untuk memudahkan pembuatan Boundary condition
- Contoh folder notepad untuk Boundary condition untuk **UX, UY dan UZ = 0**



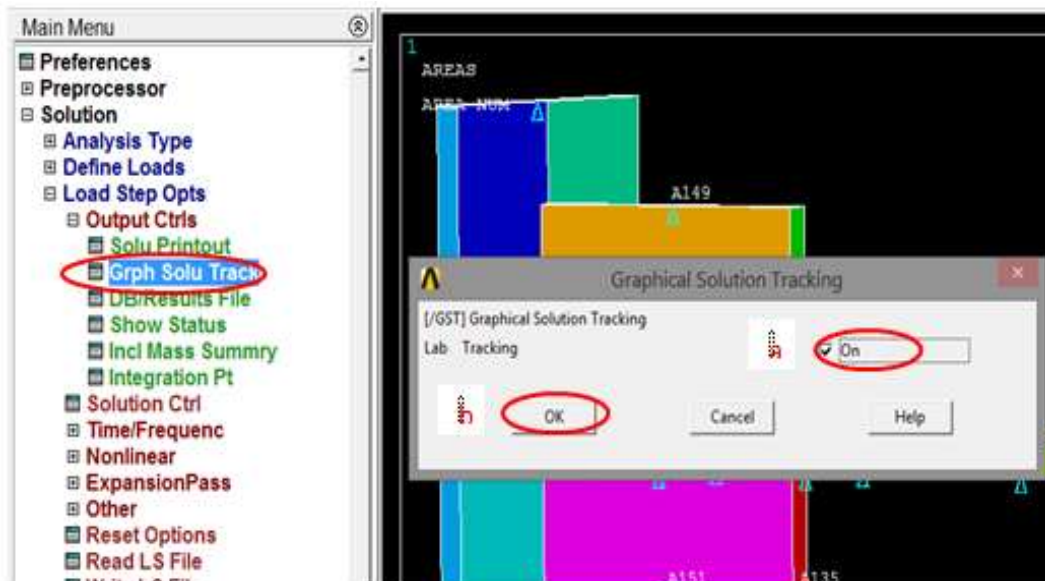
7. Main menu → Pilih Solution → Define Load → Apply → **Structural** → Temperature → pilih **Form Therm Analy** → masukkan data berikut :
- Isi kolom dengan nomor urut loadstep
  - tuliskan “ LAST”
  - kemudian “browse file rth”
  - Klik OK



8. Main menu → Pilih Solution → Loadstep Opts → Output Ctrl → Pilih Solu Printout
- Pada kolom OUTPR pilih All items
  - Check PREQ menjadi “Every substep”
  - Klik OK



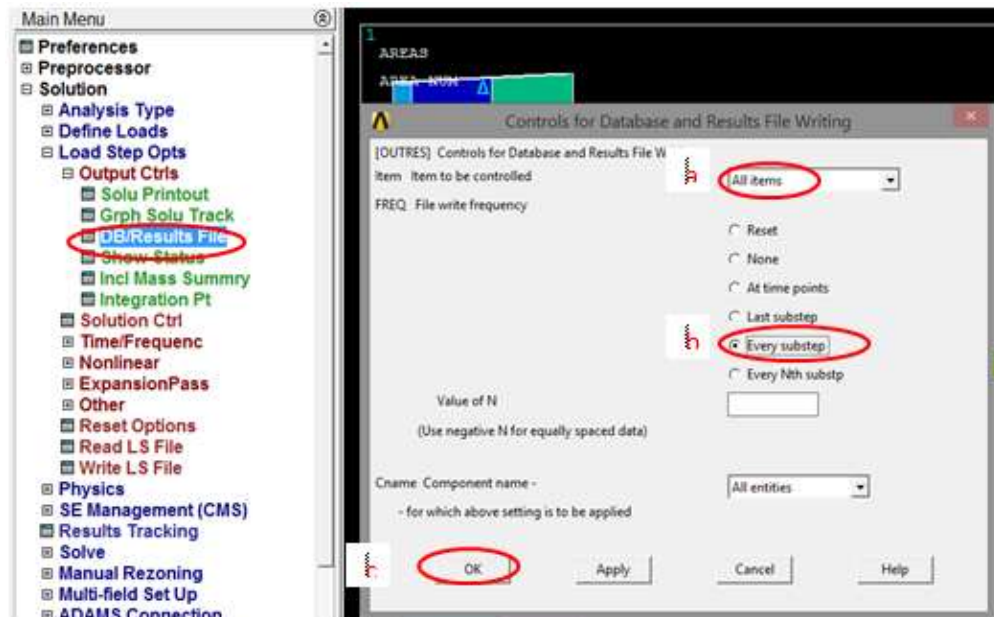
9. Main menu → Pilih Solution → Loadstep Opts → Output Ctrl → Grph Solu Track
- Check point /GST pastikan menjadi “ON”
  - Klik OK





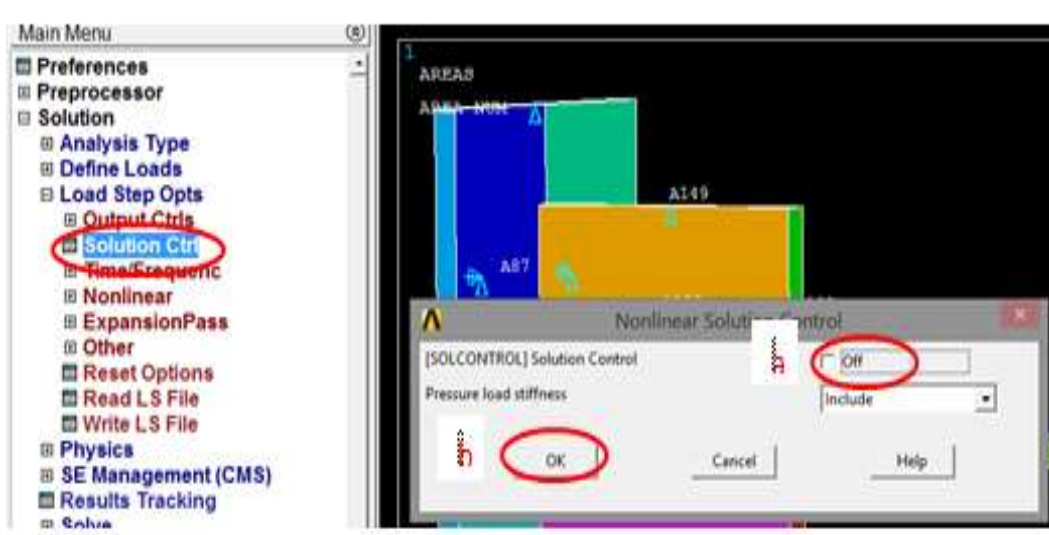
10. Main menu → Pilih Solution → Loadstep Opts → Output Ctrl → DB/Result File

- Pilih item OUTRES menjadi “All item”
- Check PREQ pada “Every substep”
- Klik OK



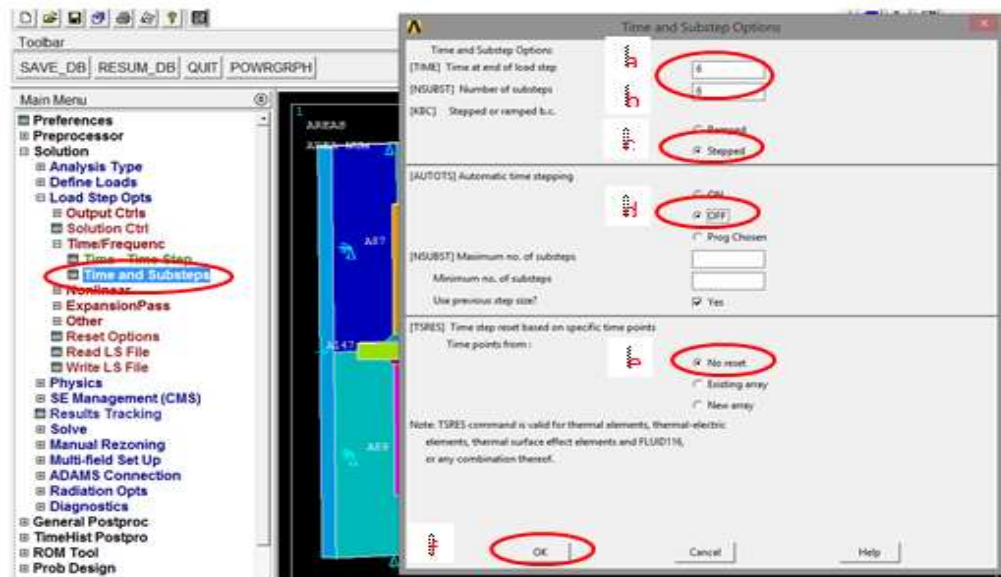
11. Main menu → Pilih Solution → Loadstep Opts → Solution Ctrl

- Pilih “SOLCONTROL” pastikan menjadi “OFF”
- Klik OK



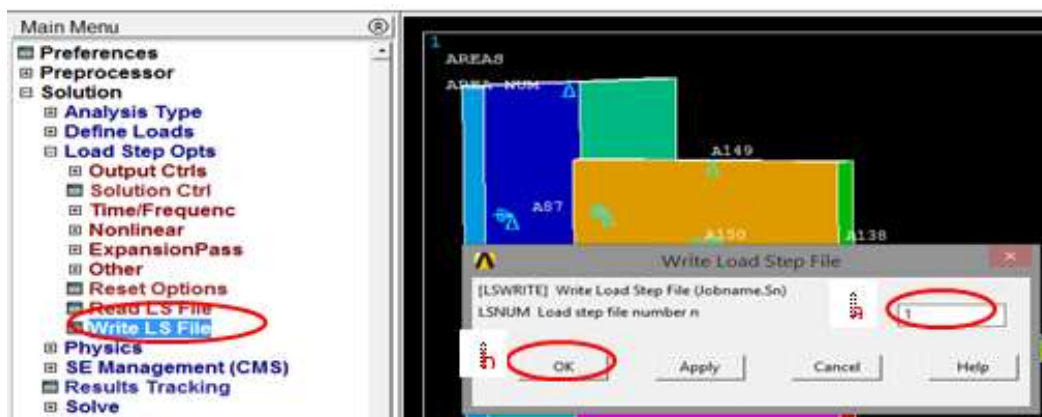
12. Main menu → Pilih Solution → Loadstep Opts → Time/Frequenc → pilih **Time and Substeps**

- Isi kolom “TIME” dengan jumlah waktu yang dibutuhkan untuk satu Loadstep ke Loadstep berikutnya (waktu dapat disesuaikan dengan jarak antar Loadstep)
- Isi kolom “NSUBST (Number of substep)”
- Check “Stepped”
- Check “AUTOTS” pada kondisi “OFF”
- Pastikan “TSRES” dalam kondisi “No reset”
- Klik OK



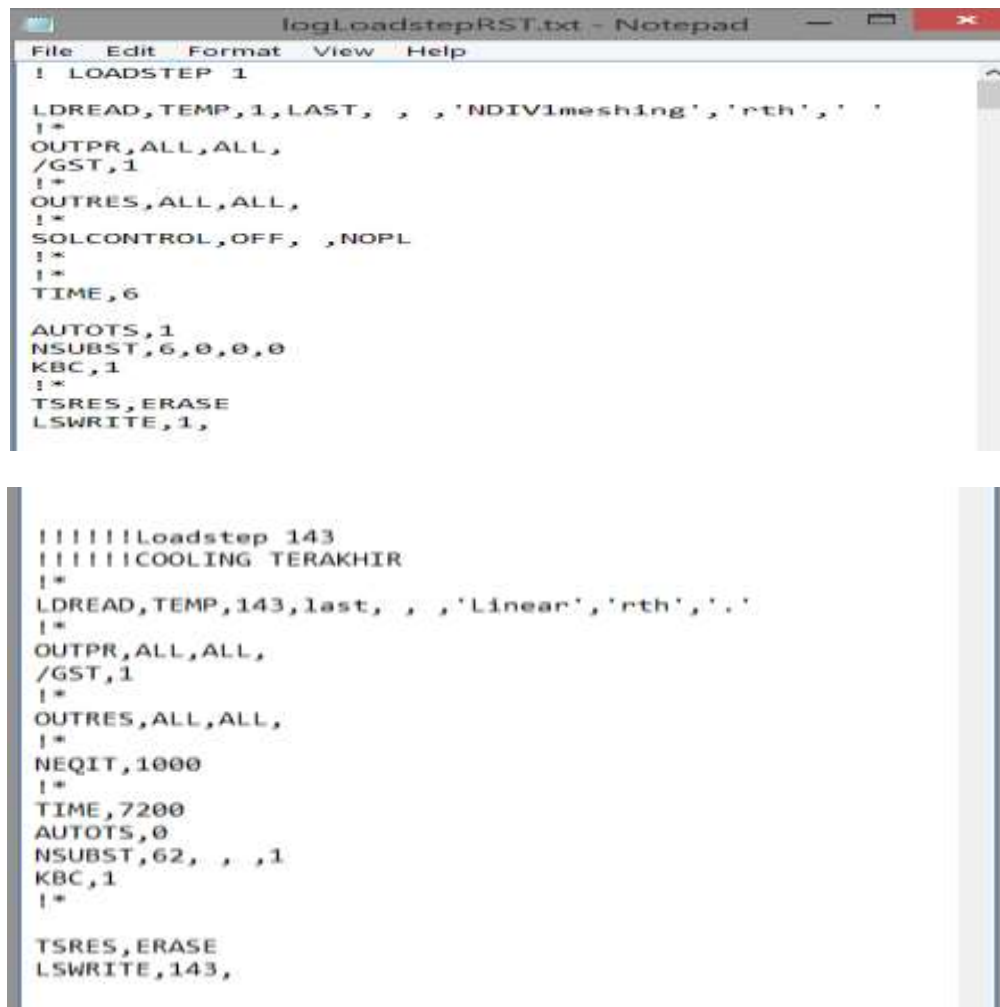
13. Main menu → Pilih Solution → Loadstep Opts → **Write LS File**

- Isi kolom “LSWRITE” dengan nomor urut Loadstep
- Klik OK



14. Lakukan kembali langkah 7 sampai 13 untuk semua Loadstep secara seksama dan berurutan

- Contoh Folder notepad untuk Loadstep 1 sampai 143



```

logLoadstepRST.txt - Notepad
File Edit Format View Help

! LOADSTEP 1

LDREAD,TEMP,1,LAST, , , 'NDIVImeshing','rth',' '
!*
OUTPR,ALL,ALL,
/GST,1
!*
OUTRES,ALL,ALL,
!*
SOLCONTROL,OFF, ,NOPL
!*
!*
TIME,6

AUTOTS,1
NSUBST,6,0,0,0
KBC,1
!*
TSRES,ERASE
LSWRITE,1,

|||||Loadstep 143
|||||COOLING TERAKHIR
!*
LDREAD,TEMP,143,last, , , 'Linear','rth',' '
!*
OUTPR,ALL,ALL,
/GST,1
!*
OUTRES,ALL,ALL,
!*
NEQIT,1000
!*
TIME,7200
AUTOTS,0
NSUBST,62, , ,1
KBC,1
!*

TSRES,ERASE
LSWRITE,143,

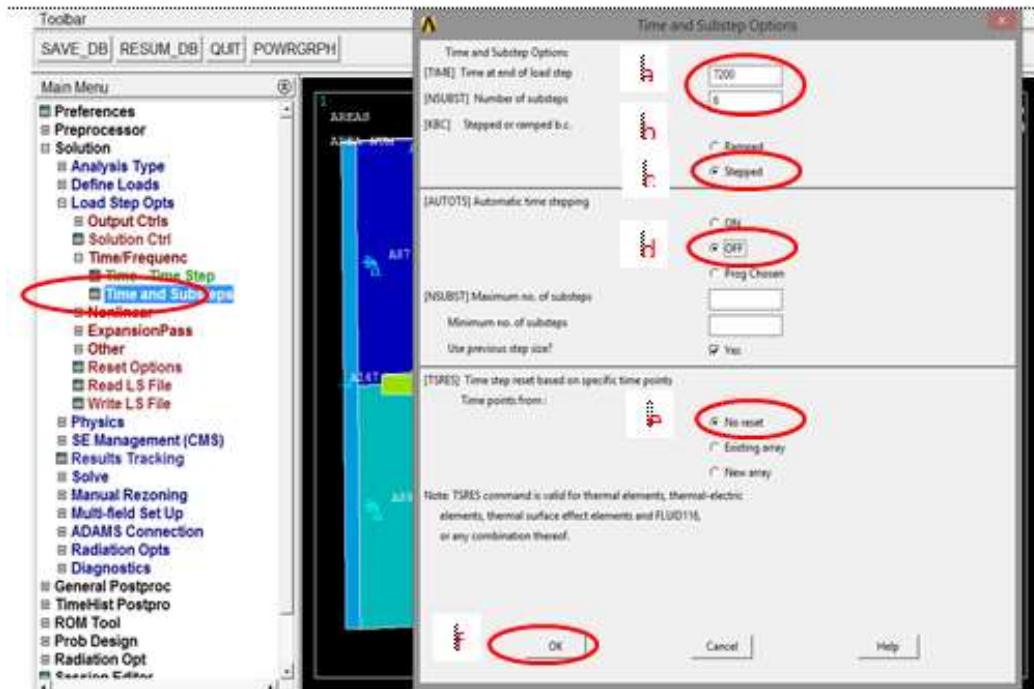
```

15. Selanjutnya lakukan Proses pendinginan pilih Main menu ➔ Pilih Solution ➔ Loadstep

Opts ➔ Time/Frequeunc ➔ pilih Time and Substeps

- Isi kolom “TIME” dengan jumlah waktu yang dibutuhkan untuk mendinginkan proses pengelasan secara keseluruhan dengan waktu tertentu (beberapa jam)
- Isi kolom “NSUBST (Number of substep)”
- Check “Stepped”
- Check “AUTOTS” pada kondisi “OFF”
- Pastikan “TSRES” dalam kondisi “No reset”
- Klik OK



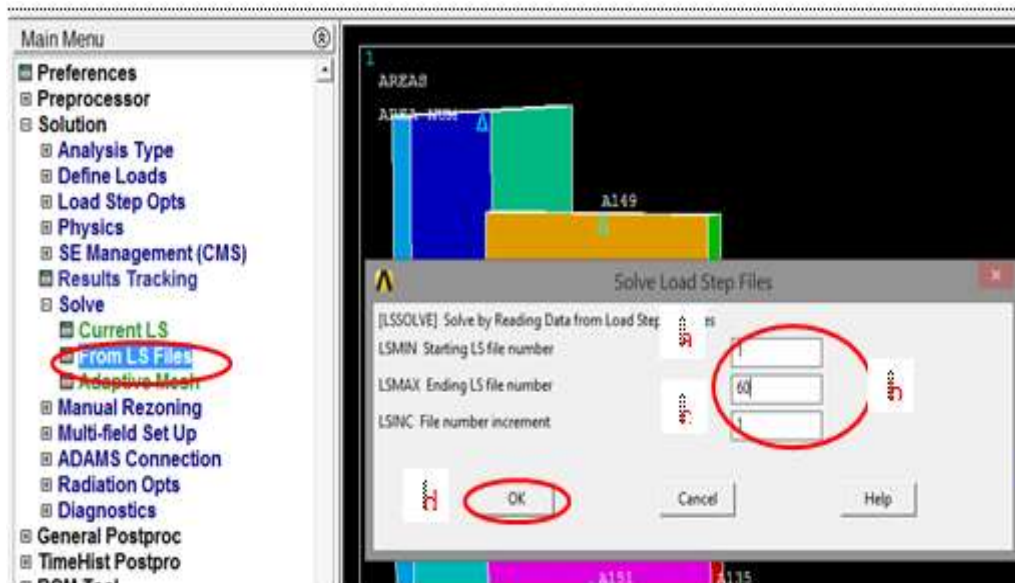


- g. Kemudian kembali ke → Loadstep Opts → pilih Write LS File → isi kolom “LSWRITE” dengan jumlah Loadstep yang akan didinginkan (sebaiknya melebihi jumlah Loadstep yang akan didinginkan untuk mendapatkan hasil yang lebih baik)
- h. Klik Ok



## 16. Main menu → Solution → Solve → pilih From LS File

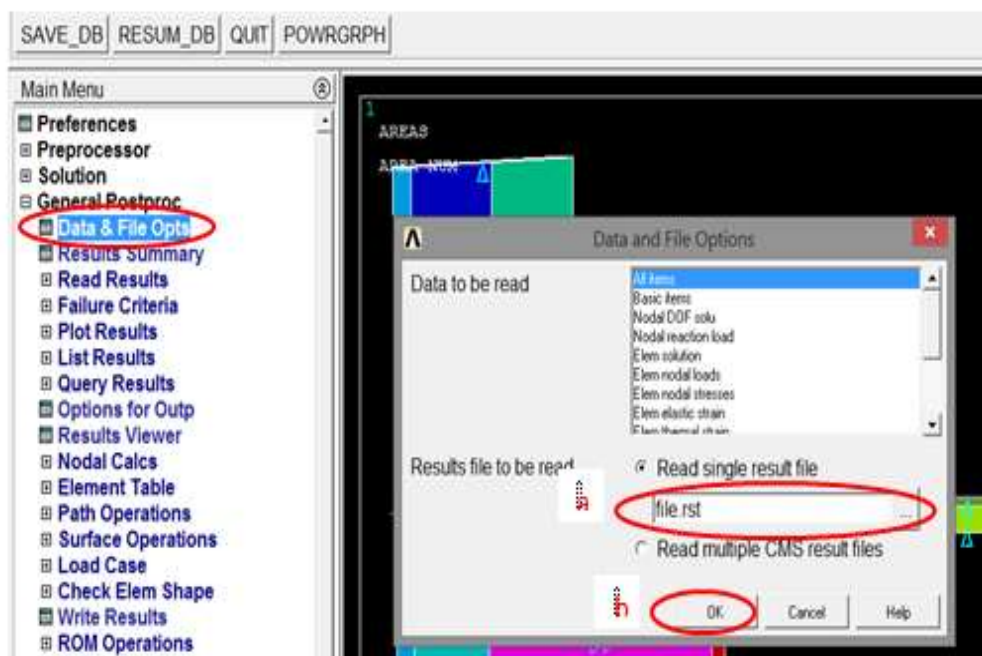
- a. Isi kolom “LSSOLVE” pada LSMIN masukkan nomor awal Loadstep
- b. LSMAX masukkan nomor akhir Loadstep
- c. LSINC default increment 1
- d. Klik OK



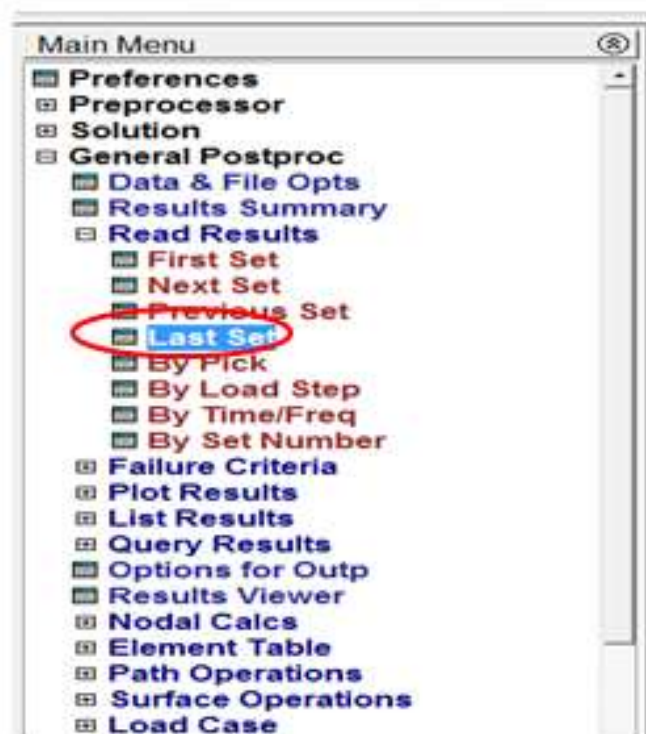
NB : Tunggu sampai running selesai, selanjutnya **Save DB** hasil running

**17.** Untuk melihat hasil running pilih Main menu → General Postproc → Data & File Opts

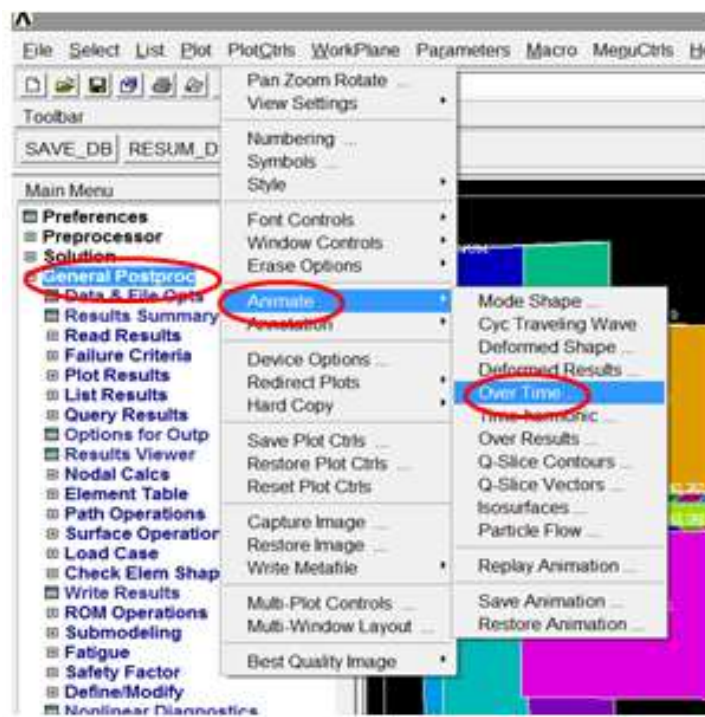
- a. Browse “file rst”
- b. Klik OK



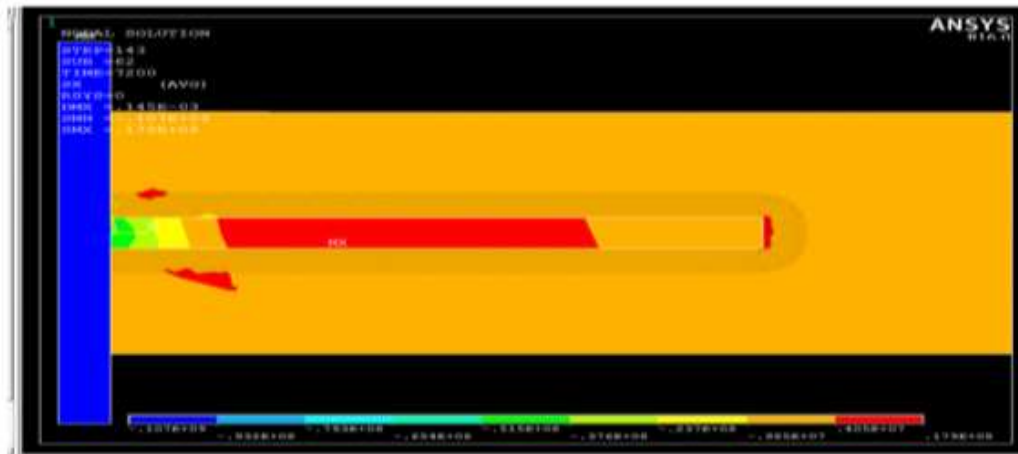
18. Kemudian untuk melihat simulasi stress pada spesimen pilih Main menu → General Postproc  
→ Read Result → pilih Last Set



19. Pada menu utama Pilih PlotCtrls → Animate → Over Time



## Hasil pemodelan Thermal to Structural



## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari penelitian ini dapat disimpulkan beberapa hal yaitu sebagai berikut :

1. Besarnya tegangan sisa pada pemodelan sambungan *bracket* hasil nilai maksimum pada arah longitudinal untuk skenario pertama diperoleh 0,9 *yield stress* dan skenario kedua 0,8 *yield stress* (YS). Sedangkan hasil nilai maksimum tegangan sisa arah transversal pada jarak 2 mm dari kaki lasan diperoleh 0,85 YS untuk skenario pertama dan 0,65 YS untuk skenario kedua. Pada 2,5 mm dari kaki lasan diperoleh 0,8 YS untuk skenario pertama dan 0,6 YS untuk skenario kedua. Sedangkan pada jarak 6 mm dari kaki lasan diperoleh 0,7 YS untuk skenario pertama dan 0,4 untuk skenario kedua. Dengan demikian hasil yang diperoleh menunjukkan nilai maksimum tegangan sisa arah longitudinal dan transversal pada skenario pertama lebih mendekati dengan hasil eksperimen yaitu 1,0 YS
2. Besarnya distorsi yang terjadi pada pemodelan sambungan *bracket* pada skenario pertama mendekati dengan hasil pemodelan numerik dari penelitian eksperimen. Sedangkan hasil eksperimen lebih besar dibandingkan dengan pemodelan sambungan *bracket* dan hasil pemodelan numerik eksperimen.
3. Pengaruh nilai tegangan sisa untuk skenario 1 dan skenario 2 pada pemodelan sambungan *bracket* memiliki perbedaan yang sangat signifikan, skenario 1 cenderung memiliki nilai tegangan sisa lebih besar dibandingkan dengan nilai tegangan sisa pada skenario 2. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pengaruh urutan jalur pengelasan dapat mengurangi nilai tegangan sisa. Sedangkan untuk nilai distorsi pada skenario 1 cenderung lebih kecil dibandingkan dengan hasil distorsi pada skenario 2. Sehingga untuk nilai distorsi skenario 1 dengan urutan jalur pengelasan dari sisi tengah lebih baik daripada skenario 2 dengan urutan jalur pengelasan dari sisi tepi.

## 5.2 Saran

Pembebanan *heat flux* pada saat pemodelan pengelasan perlu dilakukan dengan metode yang lain, sehingga dapat mendekati kondisi yang sebenarnya. Variasi urutan jalur pengelasan sangat dibutuhkan untuk mencari nilai minimum tegangan sisa dan mereduksi distorsi yang biasa terjadi pada saat melakukan pemodelan pengelasan. Pengembangan terhadap *software* juga sangat diperlukan untuk mengembangkan bentuk geometri yang lain dan sesuai dengan kondisi di lapangan dan industri pengelasan.

## DAFTAR PUSTAKA

- ANSYS, 2009, "Theory reference for Mechanical APDL and Mechanical Application", ANSYS inc, Canonsburg, PA
- Berge, S. and Eide, O. I., "*Residual Stress and Stress Interaction in. Fatigue Testing of Welded Joints,*" *Residual Stress Effects in Fatigue*", ASTM STP 776. American Society for Testing and Materials, 1982, pp. 115-131
- DNV, 2005. "Hull Structure Course", DNV, Norway.
- Grong, 1994, "Metalurgical modeling of welding" The institut of materials, Cambrige.
- Logan, D.L, 2000. A First Course in the Finite Element Method, Brooks/Cole, United States
- Mahrlein, 1999, "The Welding Engineer's current knowledge edition 2000 : Fabrication Application Engineering" SLV Duisburg GmbH.
- Masubuchi K, 1980, "Source Analysis of welded structures, Residual Stresses, Distortion and their consequences", Pergamon, London
- Pilipenko A, 2001, "Computer simulation of Residual Stress and distortion of thick plates in multi-electrode submerged arc welding", Doctoral Thesis, NTNU, Trondheim
- Syahroni N, 2014, "Fatigue Assessment of Welded Joints Taking into Account Effects of Residual Stress", Doctoral Thesis, NTNU, Trondheim.
- Wang Erke, etc. 2004. "Tetrahedra vs. Hexahedra" CAD-FEM, Munich, Germany.
- Wirjosumarto, H dan Okumura T, 1994 "Teknologi pengelasan logam", Pradya paramita, Jakarta.
- Setia B. Sasongko, 2010 " Dasar metode numerik persamaan linear simultan persamaan non linear persamaan diferensial pengolahan data", C.V.ANDI OFFSET, Yogyakarta.

Sukaini. 2011. Modul Diklat Las Busur Listrik Manual (SMAW). PPPPTK BOE Malang.

Surdia, Tata & Shindroku Saito. 1999. Pengetahuan Bahan Teknik. Jakarta : PT. Pradnya Paramita.

<http://www.kitapunya.net/2015/07/pengertian-contoh-konduksi-konveksi-radiasi.html>

<http://rezharejha.blogspot.co.id/2014/02/fpso-floating-production-storage-and.html>



## BIOGRAFI PENULIS



**Suheri, ST.**, dilahirkan di Tanjung sari pada 21 Oktober 1989. Anak pertama dari 4 bersaudara telah menempuh pendidikan di SDN 02 Suka Makmur, SMPN 02 Kejuruan Muda dan SMKN 02 Langsa. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan kejenjang perguruan tinggi Universitas Samudra di Langsa Nanggroe Aceh Darussalam dan penulis menyelesaikan pendidikan Sarjana Teknik pada Tahun 2013. Selama masa perkuliahan penulis juga aktif dalam beberapa organisasi yang bergerak di bidang akademik dan menjadi pengurus Himpunan Teknik Mesin, selain itu penulis diperbantukan di Laboratorium Jurusan Teknik Mesin Universitas Samudra Langsa.

Setelah mendapatkan gelar Sarjana Teknik penulis mengikuti Seleksi Penerimaan Beasiswa Calon Dosen Dalam Negeri yang diselenggarakan oleh Direktorat Perguruan Tinggi dan diterima di Pascasarjana Program studi Teknik Perancangan Bangunan Laut (TPBL) Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama masa perkuliahan di program pascasarjana Teknik Kelautan juga aktif dalam kegiatan organisasi akademik Himpunan Mahasiswa Pascasarjana dan organisasi di luar yaitu perkumpulan Keluarga Besar Tanah Rencong sebagai bentuk partisipasi dan dukungan terhadap kelompok Mahasiswa Aceh yang berdomisili di Surabaya.

Penulis menguasai beberapa program simulasi yang berkaitan dengan teknologi kelautan di bidang Hidrodinamika Lepas Pantai dan Struktur, di antaranya : ANSYS APDL, ANSYS MECHANICAL.